

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

**В. Е. Бекетов**

**Г. П. Евтухова**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

**«МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА»**

*(для студентов 5 курса дневной и 5-6 курсов заочной форм обучения  
специальности 101 – Экология)*

**Харьков – ХНУГХ им. А. Н. Бекетова – 2017**

Конспект лекций по дисциплине «Методология прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха» для студентов 5 курса дневной и 5-6 курсов заочной форм обучения специальности 101 – Экология / В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова ; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. – 74 с.

Авторы: канд. техн. наук, доц. В. Е. Бекетов,  
ст. преп. Г. П. Евтухова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю. Л. Коваленко

Рекомендовано кафедрой инженерной экологии городов,  
протокол № 1 от 31 августа 2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
РАСSEИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ. ФООНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ .....	6
1 РАСSEИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ.....	6
1.1 АТМОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.....	6
1.2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ ПОД ФАКЕЛОМ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА .....	6
1.3 ВЫСОТА НАЧАЛЬНОГО ПОДЪЕМА .....	8
2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАСSEИВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ .....	10
2.1 ВЕТЕР .....	10
2.2 ТЕМПЕРАТУРА .....	11
2.2.1 Инверсия температуры.....	11
2.2.2 Градиент температуры и устойчивость атмосферы .....	11
2.2.3 Градиент температуры и форма струи дыма.....	13
2.3 ТУМАНЫ. ОСАДКИ. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ .....	15
2.4 ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ .....	15
3 ФООНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ .....	17
3.1 ПЕРИОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ Сф. ОБРАБОТКА ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ .....	17
3.2 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФООНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ .....	18
3.2.1 Расчетный метод.....	18
3.2.2 Графический метод.....	21
3.3 ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ РАЗЛИЧИЙ Сф И ИСКЛЮЧЕНИЕ ВКЛАДА ПРЕДПРИЯТИЯ.....	21
4 ГАУССОВА МОДЕЛЬ РАСSEИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ.....	24
4.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАУССОВА ИЛИ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	24
4.2 ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ РАСSEИВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ГАУССОВОЙ ТЕОРИИ..	25
4.2.1 Принятые допущения .....	26
4.2.2 Отражение струи от поверхности земли.....	26
4.3 ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ .....	27
4.4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ГАУССОВОЙ ТЕОРИИ.....	28
4.5 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИИ (КЛАССА УСТОЙЧИВОСТИ) АТМОСФЕРЫ .....	29
4.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМУМА ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И ЕГО ПОЛОЖЕНИЯ .....	32
4.7 РАСSEЯНИЕ В АТМОСФЕРЕ АЭРОЗОЛЕЙ .....	33

5	ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	38
5.1	ТЕОРИЯ АТМОСФЕРНОЙ ДИФфуЗИИ. УРАВНЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФфуЗИИ.....	38
5.2	АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИФфуЗИИ. ОСОБЕННОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВДОЛЬ ОСИ ФАКЕЛА .....	40
6	МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ВЫБРОСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ..	41
6.1	РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОДИНОЧНОГО ИСТОЧНИКА С КРУГЛЫМ УСТЬЕМ.....	42
6.2	РАСЧЕТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ИСТОЧНИКА С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ УСТЬЕМ .....	49
6.3	РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА .	50
6.4	РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ И ПЛОЩАДНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	52
6.5	РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ.....	54
6.6	УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ .....	56
7	РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ПДВ (ВСВ) ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	59
7.1	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВОВ, ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ.....	60
7.1.1	<i>Содержание отчета по проведению инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии.....</i>	<i>61</i>
7.2	РАЗРЕШЕНИЕ НА ВЫБРОС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ.....	65
7.3	ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (ОВОС).....	68
7.3.1	<i>Оценка влияния на воздушную среду .....</i>	<i>68</i>
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	71
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	73

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Методология прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха» входит в программу подготовки магистров по специальности «Экология».

В конспекте рассмотрены закономерности рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, влияние климатических условий на процесс рассеивания, изложены физические основы прогноза загрязнения атмосферы, приведена информация о фоновых концентрациях и разработке нормативов ПДВ, даны основные положения методик расчета концентраций примесей в атмосферном воздухе.

Дисциплина дает студенту знания, которые помогут установить взаимосвязь климатических условий региона с рассеиванием примесей в атмосфере, выполнить расчеты рассеивания примесей от источников различного типа, оценить качество атмосферного воздуха с учетом фоновых концентраций.

# **РАССЕИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ. ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

## **1 РАССЕИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ**

### **1.1 Атмосферная турбулентность**

Рассеивание примесей в атмосфере связано с атмосферной турбулентностью и происходит в основном за счет молекулярной и турбулентной диффузии. При этом основную роль играет турбулентная диффузия, роль молекулярной диффузии незначительна.

Турбулентная диффузия имеет две составляющих – термическую и динамическую. Термическая диффузия (обеспечивает конвективную турбулентность) связана с вертикальным температурным градиентом воздуха.

Динамическая диффузия (обеспечивает механическую турбулентность) происходит при движении воздушных масс под влиянием ветра, в нижних слоях тропосферы усиливается под влиянием макро неровностей рельефа и не связана с температурным градиентом.

Таким образом, атмосферная турбулентность является результатом двух процессов:

конвективная турбулентность – естественные конвективные потоки как результат нагревания атмосферы ( $dp / dz$ );

механическая турбулентность является результатом ветрового сдвига ( $du / dz$ ).

### **1.2 Распределение концентрации примеси в атмосфере под факелом точечного источника**

На процесс рассеивания в атмосфере выбрасываемых из дымовых труб и вентиляционных устройств промышленных выбросов существенное влияние оказывают следующие факторы:

- состояние атмосферы;
- физические и химические свойства выбрасываемых веществ (плотность, температура газа, дисперсный состав пыли и т.д.);
- высота и диаметр источника выброса;
- расположение источников;
- рельеф местности.

Распределение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере под факелом высокого точечного источника показано на рисунке 1.1.

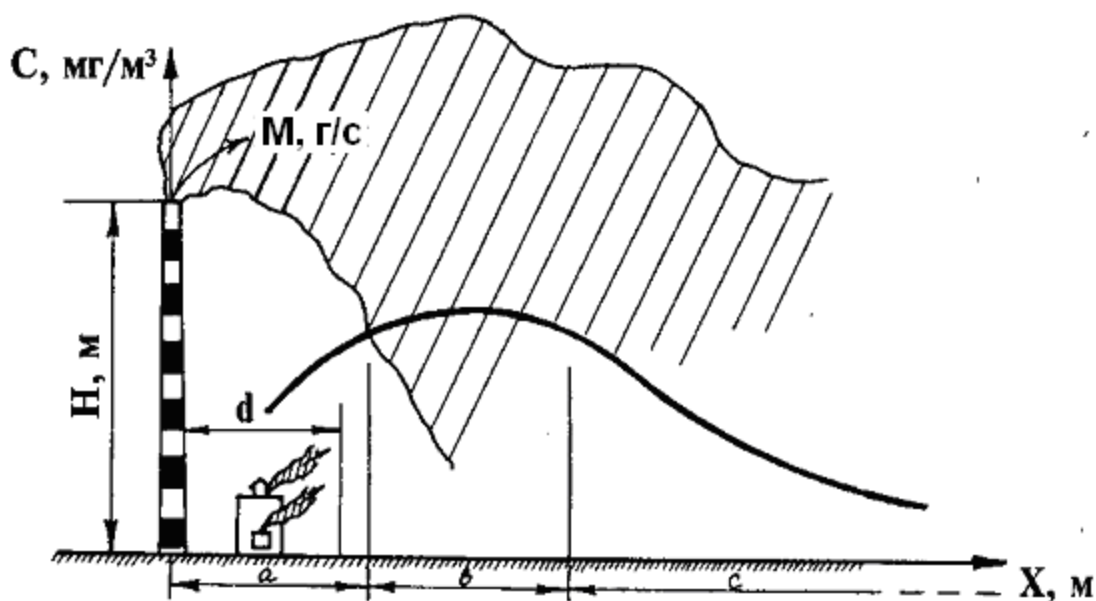


Рисунок 1.1 – Концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы под факелом одиночного точечного источника:

- $a$  – зона переброса факела;
- $b$  – зона задымления;
- $c$  – зона постепенного снижения уровня загрязнения;
- $d$  – зона загрязнения неорганизованными выбросами.

Внутри зоны переброса факела высокие концентрации веществ имеют место за счет неорганизованных выбросов.

Зона задымления является наиболее опасной и должна быть исключена из селитебной застройки. Ее размеры в зависимости от метеоусловий находятся в пределах 10 – 50 высот дымовой трубы. Максимальная концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы прямо пропорциональна массовому расходу загрязняющего вещества  $M$  и обратно пропорциональна квадрату высоты источника  $H^2$ .

### 1.3 Высота начального подъема

Повышение температуры и момента количества движения струи выбрасываемых газов приводит к увеличению высоты дымового факела и снижению приземной концентрации загрязняющих веществ (рис. 1.2).

При слабом ветре отчетливо видно, что дым из трубы сначала распространяется почти вертикально вверх и только на некотором уровне его движение приобретает горизонтальные составляющие.

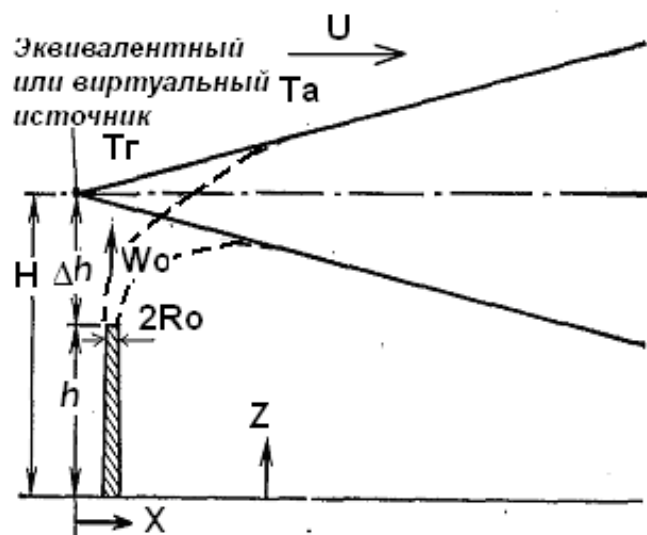


Рисунок 1.2 – Виртуальный источник с эффективной высотой  $H$

Это связано с тем, что выбросы из дымовых труб обычно обладают начальной скоростью подъема и перегреты относительно окружающего воздуха. Создается впечатление, что источник примеси приподнят над трубой на высоту  $\Delta h$  (высота начального подъема примеси).

Поэтому в расчетах вместо источника с реальной высотой  $h$  следует рассматривать некоторый виртуальный источник с характерной эффективной высотой  $H$ :

$$H = h + \Delta h ,$$

где  $\Delta h$  зависит от скорости ветра и перегрева дымовых газов относительно окружающего воздуха.

Значение  $\Delta h$  можно определить с помощью приближенной формулы, полученной на основе экспериментальных данных. При ее разработке использовались фотографии дымовых факелов, полученных в естественных и лабораторных условиях.



$$\Delta h = \frac{3,75w_o R_o}{u} + \frac{1,6gV_1\Delta T}{T_a u^3},$$

где  $w_o$  – скорость газов на выходе из источника, м/с;

$R_o$  – радиус дымовой струи, м;

$u$  – скорость ветра, м/с;

$V_1$  – объемный расход дымовых газов, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta T$  – перегрев газов относительно окружающего воздуха, °К;

$T_a$  – температура окружающего атмосферного воздуха, °К.

Рассеивание в атмосфере газообразных примесей и мелкодисперсных твердых частиц (диаметр менее 10 мкм), имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется одним и тем же закономерностям. Для более крупных частиц пыли эта закономерность нарушается, т.к. скорость их осаждения под действием силы тяжести возрастает.

Поскольку в пыле газоочистных аппаратах крупные частицы улавливаются более эффективно, чем мелкие, в выбросах после очистки остаются только мелкие частицы и их рассеивание в атмосфере рассчитывают так же, как и газообразные примеси.

## 2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАССЕЙВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

Метеоусловия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание примесей в атмосфере. Наибольшее влияние оказывает режим ветра и температуры (температурная стратификация), осадки, туманы, солнечная радиация.

Основными процессами, обеспечивающими перемешивание воздуха в нижней атмосфере, являются: 1) температурный градиент и 2) механическую турбулентность, связанная с взаимодействием ветра с подстилающей поверхностью.

### 2.1 Ветер

Ветер может оказывать различное влияние на процесс рассеивания примесей в зависимости от типа источника и характеристики выбросов. Если отходящие газы перегреты относительно окружающего воздуха, то они обладают начальной высотой подъема. В связи с этим вблизи источника создается поле вертикальных скоростей, способствующих подъему факела и уносу примесей вверх. При слабых ветрах этот подъем обуславливает уменьшение концентраций примесей у земли. Концентрация примесей у земли убывает и при очень сильных ветрах, однако это происходит за счет быстрого переноса примесей в горизонтальном направлении. В результате наибольшие концентрации примесей в приземном слое формируются при некоторой скорости, которую называют «*опасная*».

*При низких или холодных источниках* выбросов повышенный уровень загрязнения воздуха наблюдается при слабых ветрах ( $\omega = 0-1$  м/с) вследствие скопления примесей в приземном слое. Следовательно, при исследовании загрязнения воздуха в городе следует учитывать, как повторяемость малых скоростей ветра, так и повторяемость «*опасной*» скорости ветра.

Прямое влияние на загрязнение воздуха в городе оказывает *направление ветра*. Существенное увеличение концентрации примеси наблюдается тогда, когда преобладают ветры со стороны промышленных объектов.

## 2.2 Температура

Если температура окружающего воздуха понижается с высотой, нагретые струи воздуха поднимаются вверх (конвекция), а взамен их опускаются холодные. Такие условия называются *конвективными*.

Если вертикальный градиент температуры будет отрицательным (температура возрастает с высотой), то вертикально поднимающийся поток становится холоднее окружающих масс и его движение затухает. Такие условия называются устойчивыми *инверсионными*.

### 2.2.1 Инверсия температуры

Инверсия температуры (инверсионная стратификация) – повышение температуры воздуха с высотой. Если повышение температуры начинается непосредственно от поверхности земли, инверсию называют *приземной (радиационная инверсия)*, если же с некоторой высоты над поверхностью земли – *приподнятой (инверсия осаджения)*.

Инверсии затрудняют вертикальный воздухообмен и рассеивание примесей в атмосфере.

Инверсии температуры в нижней тропосфере возникают в результате следующих явлений:

- ▬ охлаждение земной поверхности вследствие радиационного излучения;
- ▬ охлаждение приземного слоя за счет затрат тепла на испарении воды или таяние снега;
- ▬ сток холодного воздуха в пониженные части рельефа;
- ▬ на побережье морей в теплое время года при морских бризах.

### 2.2.2 Градиент температуры и устойчивость атмосферы

Любая масса газа при перемещении в атмосфере вверх расширяется, а при перемещении вниз – сжимается в соответствии с распределением давления в атмосфере по вертикали. Если градиент температуры по вертикали равен  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м, эти изменения объема протекают *адиабатно*, т. е. без подвода и отвода тепла. При различных метеоусловиях градиент температуры может быть, как больше, так и меньше адиабатного значения. При возникновении температурной инверсии он приобретает противоположный знак.

Возможность теплового перемешивания можно определить, сравнив реальный температурный градиент в окружающей среде с адиабатическим верти-

кальным градиентом температуры. Несколько возможных температурных градиентов в окружающей среде в сопоставлении с адиабатическим градиентом температуры представлено на рисунке 2.1.

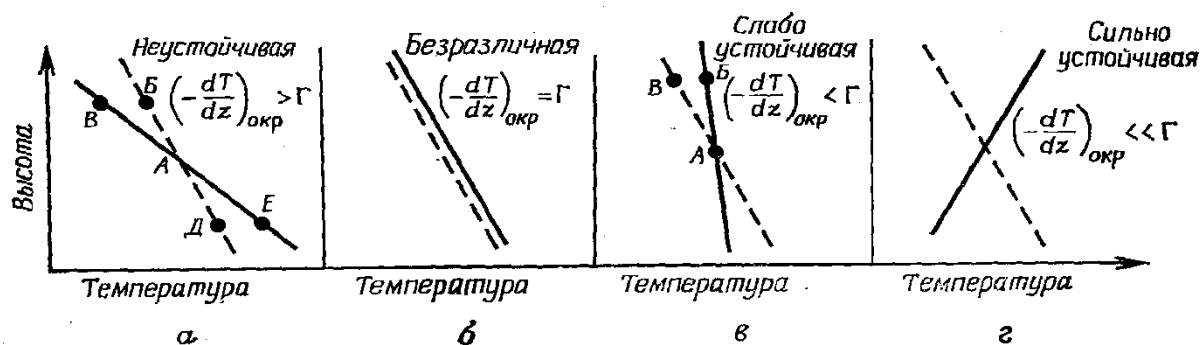


Рисунок 2.1 – Градиент температуры и устойчивость атмосферы:  
— фактический градиент температуры в окружающем воздухе,  
— — — адиабатический вертикальный градиент температуры

Когда вертикальный температурный градиент в окружающей среде больше адиабатического градиента  $\Gamma$ , атмосферу называют *сверхадиабатической*. (Это означает, что действительный температурный градиент более отрицателен, чем адиабатический). Рассмотрим точку  $A$  на рисунке 2.1,а, для сверхадиабатического случая. Когда небольшой объем воздуха  $V$  с температурой  $A$  переносится быстро вверх (случай турбулентной флуктуации в атмосфере), его расширение хорошо аппроксимируется как адиабатическое. Его конечное состояние может быть описано точкой  $B$ , которая лежит на прямой адиабатического градиента. В этом состоянии температура объема  $V$  в точке  $B$  больше, чем температура окружающего воздуха на этой высоте, представленная точкой  $B$ , которая лежит на прямой температурного градиента окружающего воздуха. Рассматриваемый малый объем воздуха  $V$ , таким образом, имеет меньшую плотность, чем окружающий воздух (то же самое давление, но при более высокой температуре), и имеет тенденцию продолжать движение вверх. Если такой же объем воздуха начнет случайно двигаться вниз, он подвергнется адиабатическому сжатию при температуре  $D$ , которая ниже, чем температура окружающего воздуха в точке  $E$ . Поскольку его плотность больше, рассматриваемый объем будет продолжать движение вниз. Описанные только что условия определяют *неустойчивость атмосферы*, так как любое возмущение в вертикальном направлении имеет тенденцию усиливаться.

Таким образом, любая атмосфера, для которой характерен сверхадиабатический градиент температуры, является *неустойчивой*.

Степень устойчивости атмосферы определяет способность атмосферы рассеивать загрязнители. Устойчивость атмосферы определяется отсутствием значительных вертикальных движений и перемешивания.

### 2.2.3 Градиент температуры и форма струи дыма

Возможные варианты распространения струи дыма из высокого одиночного источника при различных градиентах температуры в приземном слое показаны на рисунке 2.2.

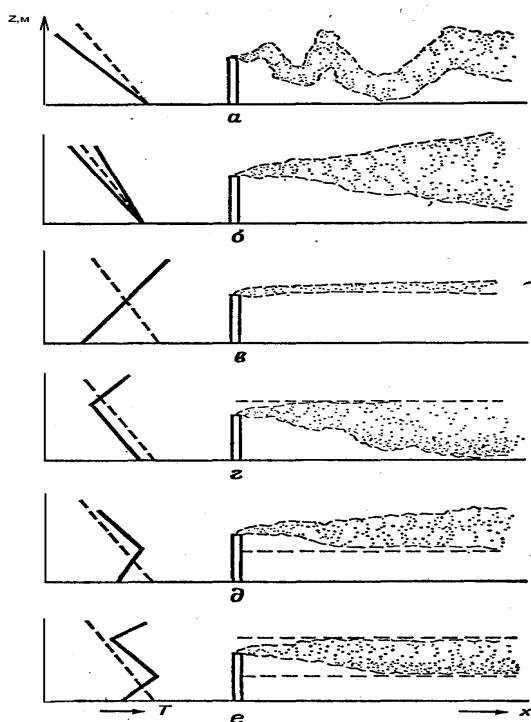


Рисунок 2.2 – Температурный профиль и форма струи дыма в плоскости XZ:

----- – адиабатический вертикальный градиент температуры;  
 ———— – градиент температуры в окружающем воздухе (фактический).

*a – волнообразная струя, сильная неустойчивость*

Сверх адиабатный вертикальный температурный градиент. Сильная конвективная турбулентность. Неустойчивое состояние атмосферы. Возникают клубы дыма, загрязнения интенсивно рассеиваются в больших объемах. На отдельных участках приземного слоя могут оказаться высокие концентрации. Картина характерна для ясных дней при нагревании земной поверхности солнцем, при слабых ветрах.

*б – конусообразная струя, устойчивость близка к безразличной*

Малые температурные градиенты. Доминирует мелкомасштабная механическая турбулентность. Атмосферное состояние устойчиво и условия рассеива-

ния загрязняющих веществ менее благоприятны. Дымовой факел имеет форму конуса (половина угла раствора струи составляет  $\approx 10^\circ$ ). Большая часть примесей переносится далеко в направлении ветра, прежде чем в значительной концентрации достигнет уровня земли.

Картина характерна для облачных дней-ночей, при умеренных ветрах. Облачность препятствует притоку солнечной радиации днем и оттоку ее от поверхности земли ночью.

*в – веерообразная струя, поверхностная инверсия, сильная устойчивость*

Большой отрицательный градиент температуры. Толстый инверсионный слой. Слабая механическая турбулентность. Струя приобретает веерообразную форму и распространяется горизонтально. Сечение струи приближается к эллиптическому, загрязнения удаляются на большие расстояния. Земной поверхности достигают низкие концентрации примесей.

Картина характерна для безветренных, ясных ночей, когда земля охлаждается, излучая тепло.

*г – задымляющая струя, приподнятая инверсия выше горловины трубы*

Инверсионный слой расположен выше устья трубы. Он является преградой для рассеивания выбросов. Образуется задымляющая струя, и выбросы газа направляются на землю. Концентрация загрязнений в приземном слое может в десятки раз превышать расчетную.

Картина характерна для раннего утра после ночи с устойчивой инверсией: утреннее солнце нагревает землю, развивается отрицательный температурный градиент в направлении от поверхности земли. При достижении отрицательным градиентом высоты трубы большие объемы выброса, сформированные в виде веерообразной струи, переносятся к поверхности земли вдоль направления ветра.

*д – приподнятая струя, инверсия ниже горловины трубы*

Инверсия заканчивается ниже устья дымовой трубы. Инверсионный слой служит естественной преградой, предотвращающей опускание загрязненной струи на землю. ЗВ рассеиваются в направлении ветра и заметных приземных концентраций не образуется.

Картина характерна для послеполуденного время, раннего вечера при ясном небе. В течение солнечного дня развивается отрицательный температурный градиент в нижнем слое атмосферы. Излучаемое поверхностью земли тепло в позднее послеполуденное время приводит к образованию инверсии вблизи поверхности. При развитии инверсии приподнятая струя переходит в веерообразную.

*е – ограниченная струя, инверсии ниже и выше горловины трубы*

При размещении инверсии как выше, так и ниже верхней точки трубы, образуются условия для ограниченной струи. Рассеяние примесей в этом случае происходит только в слое между двумя устойчивыми областями атмосферы.

Если при ослаблении ветра до штиля наблюдается инверсия, то может образоваться «*потолок*», препятствующий подъему выбросов. Концентрация примесей у земли резко возрастает. Поэтому для состояния атмосферы в городах большую опасность представляет приземная инверсия температуры в сочетании со слабыми ветрами, т.е. ситуация «*застоя воздуха*».

## **2.3 Туманы. Осадки. Солнечная радиация**

*Туманы* на содержание загрязняющих веществ в атмосфере влияют следующим образом.

Капли тумана поглощают примесь, причем не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих, наиболее загрязненных слоев воздуха. Вследствие этого концентрация примесей сильно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. Растворение сернистого газа в каплях тумана приводит к образованию серной кислоты.

*Осадки* очищают воздух от примесей. После интенсивных длительных осадков высокие концентрации примесей в атмосфере практически не наблюдаются.

*Солнечная радиация* обуславливает фотохимические реакции в атмосфере с образованием различных вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем вещества, поступающие от источников выбросов. Например, происходит окисление сернистого газа с образованием сульфатных аэрозолей.

## **2.4 Показатель загрязнения атмосферы**

В ряде случаев требуется детализация или уточнение климатических условий применительно к урбанизированным территориям, поскольку источники промышленных загрязнений расположены, как правило, в городах.

В крупных городах формируется свой микроклимат, существенно меняются аэродинамические, радиационные, термические и влажностные характеристики атмосферы. Выделение в городах большого количества тепла, изменение газового и аэрозольного состава воздуха приводят к повышению температуры

воздуха и образованию так называемых «островов тепла». Повышение температуры над крупным городом по сравнению с температурой окружающей местности может наблюдаться до высоты в несколько сотен метров.

При решении практических задач, связанных с защитой чистоты атмосферы, необходима комплексная оценка климатических условий переноса и рассеивания примесей над заданным географическим районом. Для этого разработан ряд различных показателей. Например, в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова разработан показатель загрязнения атмосферы (*ПЗА*), представляющий собой отношение средних уровней концентраций примеси при заданных выбросах в конкретном  $\bar{C}_i$  и условном  $\bar{C}_o$  районах.

$$ПЗА = \frac{\bar{C}_i}{\bar{C}_o}$$

*ПЗА* показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеоусловий, будет выше, чем в условном.

На территории государств СНГ *ПЗА* изменяется в пределах от 2,1 до 4,0, т. е. при равных параметрах выбросов уровень загрязнения атмосферы в различных городах может отличаться почти в 2 раза за счет разной повторяемости неблагоприятных метеоусловий.

Минимальные значения *ПЗА* получены для северо-западных районов европейской территории, побережья Белого и Баренцева морей, где отмечается *минимальная повторяемость слабых ветров и приземных инверсий*.

Максимальные значения *ПЗА* наблюдаются в Восточной Сибири, что связано с мощными зимними антициклонами, обуславливающими слабые ветры и стратификацию атмосферы.

На территории Украины *ПЗА* находится в пределах 2,6 – 2,8.



### **3 ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ**

Фоновая концентрация – статистически достоверная максимальная концентрация,  $C_{\phi}$ , мг/м<sup>3</sup>. Она является характеристикой загрязнения атмосферы и определяется как значение концентрации, которое превышает не более чем в 5% случаев от общего количества наблюдений.

$C_{\phi}$  характеризует суммарную концентрацию, создаваемую всеми источниками, расположенными на данной территории.

$C_{\phi}$  устанавливается для каждого вещества по данным наблюдений. При отсутствии необходимых данных наблюдений фоновая концентрация может быть определена расчетным путем.

#### **3.1 Период определения $C_{\phi}$ . Обработка данных результатов наблюдений**

Определение  $C_{\phi}$  для каждого поста наблюдений производится по данным за период от 3 до 5 лет (не менее 3-х лет). Выбранный период должен соответствовать следующим условиям:

1. *число наблюдений* в течение года должно быть не менее 200 по каждому веществу, а общее число наблюдений за выбранный период - не менее 800;
2. *методики отбора и анализа* проб должны быть неизменными;
3. *расположение поста наблюдений* не менялось;
4. *характер застройки* в районе наблюдательного поста существенно не изменялся;
5. *существенных изменений в характеристиках промышленных выбросов в радиусе 5 км* от поста не происходило;

Для определения  $C_{\phi}$  могут быть использованы данные как стационарных, так и подфакельных постов наблюдений.

В результате обработки данных для каждого поста по всему массиву результатов наблюдений находят величины  $C_{\phi i}$  (где  $i = 0; 1; 2; 3; 4$ ), соответствующие различным градациям направления  $\alpha$  и скорости ветра  $W$ .

Таблица 3.1 – Градации  $i$  по направлению и скорости ветра

Значения $i$ в зависимости от скорости и направления ветра						
$\alpha$	Румбы	любой	С	В	Ю	З
	десятки градусов	любые	32÷4	5÷13	14÷22	23÷31
$W$ , м/с		0÷2	3÷ $W^*$			
$i$		0	1	2	3	4

Верхняя граница скорости ветра  $W^*$  определяется из условия, что скорость ветра в данном месте  $W > W^*$  встречается в 5% случаев.

При определении  $C_{\phi i}$  для каждой из пяти градаций скорости и направления ветра значения концентраций  $q_k$  ( $k$  – номер концентрации в  $i$ -ой градации) вписываются в таблицу, после чего определяется число наблюдений в каждой градации  $n_i$ , которое для дальнейшей обработки должно быть не менее 100.

Если  $n_i < 100$ , то значение  $C_{\phi i}$  считается ориентировочным.

Данные подфакельных наблюдений группируются по зонам, которые соответствуют расстояниям от источника выбросов. Количество наблюдений в каждой зоне должно быть не менее 200. Данные для каждой зоны делятся на две градации по скорости ветра:  $i=0$  соответствует скорости ветра  $0 \div 2$  м/с;  $i = 1$  соответствует скорости ветра  $3 \div W^*$  м/с.

Отдается предпочтение  $C_{\phi}$ , полученным по подфакельным измерениям, для тех участков города, где их величины больше, чем  $C_{\phi}$ , рассчитанные по данным наблюдений на стационарных постах.

### 3.2 Методы определения фоновых концентраций

Фоновая концентрация  $C_{\phi}$  может определяться одним из статистических расчетных методов либо графически.

#### 3.2.1 Расчетный метод

При определении  $C_{\phi}$  расчетным методом для каждой градации  $i$  сначала вычисляется среднее значение концентрации по формуле:

$$\bar{q}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} q_k ,$$

где  $\sum_{k=1}^{n_i} q_k$  – сумма всех значений концентраций, попавших в градацию  $i$ .

Для каждой градации  $i$  рассчитывается для концентрации среднее квадратичное отклонение  $S_i$  и коэффициент вариации  $V_i$  по формулам:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n_i} (q_k - \bar{q}_i)^2}{n_i - 1}} , \quad V_i = \frac{S_i}{\bar{q}_i}$$

Величина  $C_\phi$  определяется по формуле:

$$C_{\phi i} = \bar{q}_i F_1(V_i)$$

где  $F_1(V_i)$  – функция от  $V_i$ , показанная на рисунке 3.1.

Существуют упрощенные методы определения  $C_\phi$ , которые заключаются в следующем:

а) для каждой градации  $i$  определяется число наблюдений  $m_i$ , в которых значение концентрации  $q_k$  превышало среднюю концентрацию в данной градации  $\bar{q}_i$ , а также повторяемость  $P_i$  случаев превышения среднего значения  $\bar{q}_i$ :

$$P_i = \frac{m_i}{n_i}$$

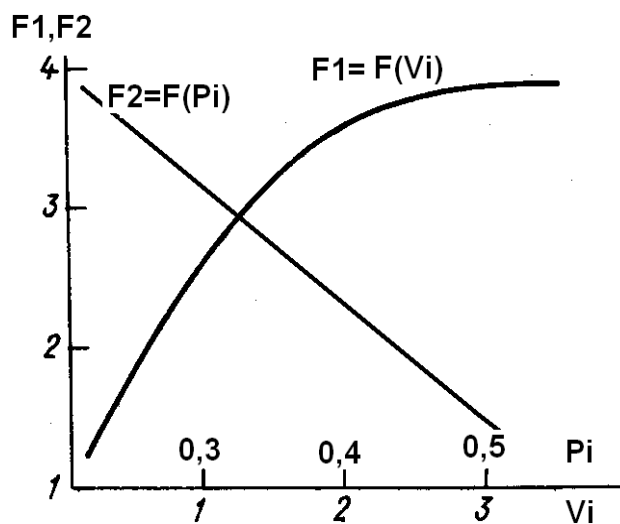


Рисунок 3.1 – График для определения  $F_1$  и  $F_2$

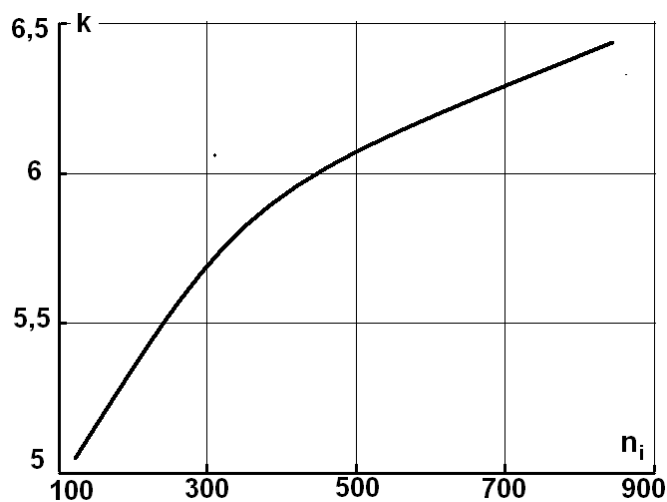


Рисунок 3.2 – График для определения  $K$

Фоновая концентрация определяется по формуле:

$$C_{\phi i} = \bar{q}_i F_2(P_i)$$

б) Метод «размаха». Среднеквадратичное отклонение рассчитывается по приближенной формуле:

$$S_i = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{k},$$

где  $q_{\max}$  и  $q_{\min}$  – максимальная и минимальная концентрация в градации;  
 $k$  – коэффициент, зависящий от числа наблюдений. (см. рис. 3.2).

### 3.2.2 Графический метод

Графический метод определения фоновой концентрации состоит в том, что для каждой градации  $i$  концентрации наносятся на график в зависимости от скорости ветра  $W$ . Определяется количество значений концентрации примеси  $n_i$ , относящееся к данной градации  $i$ . Строится огибающая плавная линия, выше которой может находиться 5% от общего количества точек  $n_i$ . С построенной огибающей снимается максимальное значение, которое принимается за  $C_{\phi i}$  (рис. 3.3).

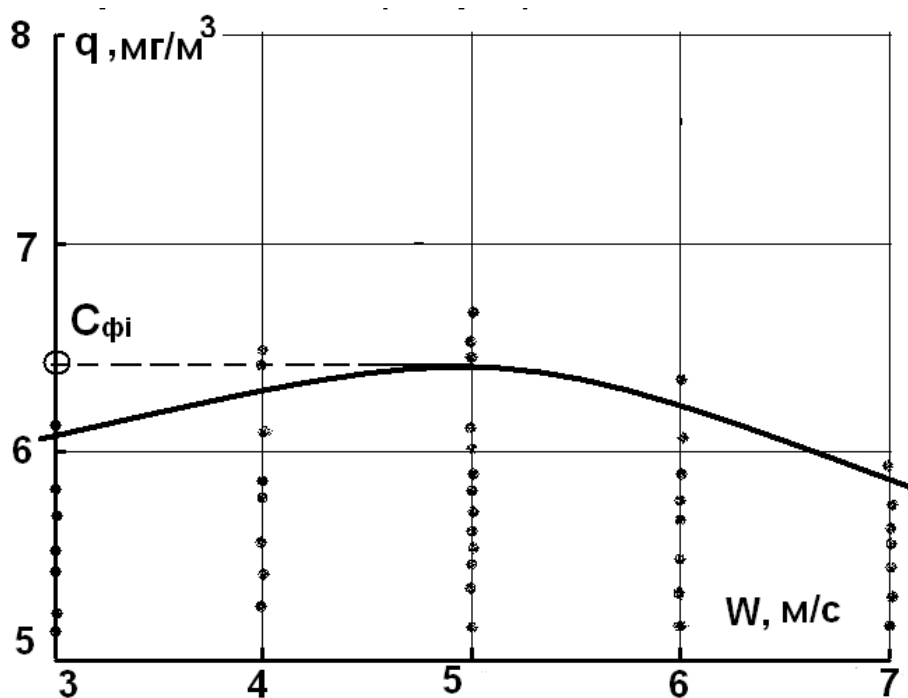


Рисунок 3.3 – График для определения фоновой концентрации  $C_{\phi i}$

### 3.3 Оценка значимости различий $C_{\phi}$ и исключение вклада предприятия

Для проведения оценки значимости различий  $C_{\phi}$  для различных градаций рассчитываются значения фоновой концентрации  $\bar{C}$  – среднее по пяти градациям и  $\tilde{C}$  – среднее по четырем градациям (без градации  $i = 0$  для скорости ветра  $0 \div 2$  м/с):

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=0}^4 n_i} \quad \tilde{C} = \frac{\sum_{i=1}^4 C_{\phi i} n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i},$$

где  $\sum_{i=1}^5 C_{\phi i} n_i$  – сумма пяти произведений  $C_{\phi i}$  для каждой градации на количество измерений в данной градации  $n_i$ .

Если максимальное и минимальное значение  $C_{\phi i}$  при  $i = 0, 1, 2, 3, 4$  удовлетворяют неравенству (3.1), то для такого поста в качестве  $C_{\phi}$  принимается значение  $\bar{C}$  независимо от направления и скорости ветра.

$$|C_{\phi i} - \bar{C}| \leq 0,25\bar{C} \quad (3.1)$$

Если условие (3.1) не выполняется, но минимальное и максимальное значения  $C_{\phi i}$  при  $i = 1, 2, 3, 4$  удовлетворяют неравенству (3.2), то для данного поста принимаются два значения фона: одно – для градации скорости ветра 0 - 2 м/с, другое – для скорости ветра 3 -  $W^*$  м/с (значение  $\tilde{C}$ ).

$$|C_{\phi i} - \tilde{C}| \leq 0,25\tilde{C} \quad (3.2)$$

Когда условия (3.1) и (3.2) не выполняются,  $C_{\phi}$  представляется пятью значениями.

Для учета суммации вредного действия нескольких загрязняющих веществ допускается определение *единой величины фона* по этим веществам. При этом для каждого пункта наблюдения и момента времени концентрация  $n$  веществ приводится к концентрации наиболее распространенного из них вещества.

Например, при суммации воздействия  $SO_2$  и  $NO_2$  расчет ведут по формуле:

$$q_{SO_2+NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \frac{ПДК_{SO_2 м.р.}}{ПДК_{NO_2 м.р.}} \quad (3.3)$$

Дальнейшая обработка результатов проводится так же, как и в случае одного вещества.

При проектировании промышленных предприятий и установлении ПДВ данные о распределении фоновой концентрации по территории населенного пункта представляются в табличной форме.

В отдельных случаях можно ограничиться средним значением  $\bar{C}_\phi$  по городу. Для этого вычисляется среднее значение  $\bar{C}_\phi$  по городу для каждой градации скорости и направления ветра. Для тех постов, для которых в рассматриваемой градации  $C_{\phi i}$  отличается от среднего по городу менее, чем на 25%, оно заменяется на среднюю по городу величину  $\bar{C}_\phi$ .

При установлении ПДВ для реконструируемых или действующих предприятий исключение из  $C_\phi$  вклада рассматриваемого предприятия производится по формулам:

$$C'_\phi = C_\phi \left( 1 - 0,4 \frac{C}{C_\phi} \right) \quad \text{при } C \leq 2 C_\phi$$

$$C'_\phi = 0,2 C_\phi \quad \text{при } C > 2 C_\phi$$

где  $C'_\phi$  – фоновая концентрация без учета рассматриваемого предприятия;

$C$  – максимальная концентрация, создаваемая предприятием в месте размещения поста.

## 4 ГАУССОВА МОДЕЛЬ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

### 4.1 Общая характеристика Гауссова или нормального распределения

Переменная  $X$  нормально распределена, если выполняется соотношение для функции плотности  $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где  $\mu$  – любое действительное число;

$\sigma$  – стандартное отклонение (любое действительное число больше нуля).

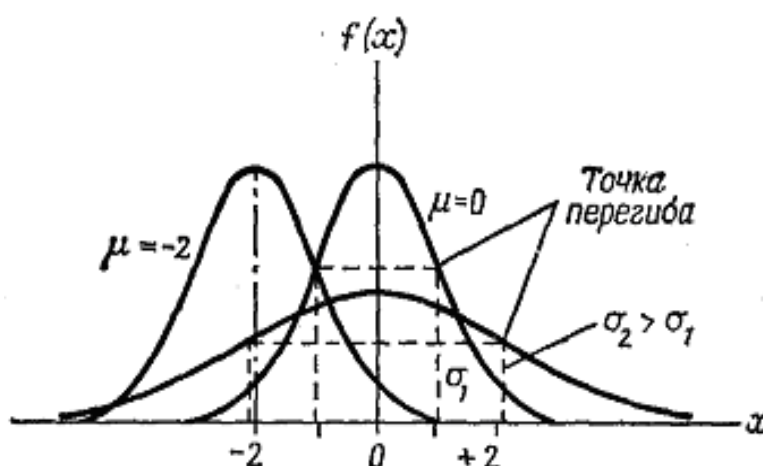


Рисунок 4.1 – Гауссово (нормальное) распределение для различных значений  $\mu$  и  $\sigma$

Функция гауссова распределения в нормированном виде – площадь, ограниченная кривой, равна единице. Параметр  $\mu$  определяет положение максимального значения  $f(x)$  на оси  $x$ ,  $\sigma$  – расширяет или сжимает колоколообразную кривую (площадь под кривой всегда равна единице).

В общем случае около 68% площади под кривой находится в интервале между  $+\sigma$  и  $-\sigma$ , а около 95% – между  $\pm 2\sigma$ .

Этот рост ширины функции распределения с увеличением  $\sigma$  имеет важный физический смысл при изучении рассеяния загрязнителей в атмосфере.



Таким образом,  $\mu$  и  $\sigma$  являются характеристиками положения и формы кривой гауссова распределения.

Уравнения для рассеяния загрязнителей будут иметь вид двойного Гауссова распределения. Двойное Гауссово распределение  $f(x, y)$  относительно двух координат ( $y$  и  $z$ ), определяется простым перемножением двух Гауссовых распределений по каждой из координатных осей.

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{-(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} + \frac{-(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

## 4.2 Основное уравнение рассеивания примесей в Гауссовой теории

Все модели оценки рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере сводятся к одной и той же функции распределения концентрации загрязнителя – Гауссова распределения.

Агентство охраны окружающей среды США использует в качестве основы модели рассеивания статистическую (Гауссову) теорию.

Мелкие частицы и газовые примеси рассеиваются в атмосфере по законам нормального распределения.

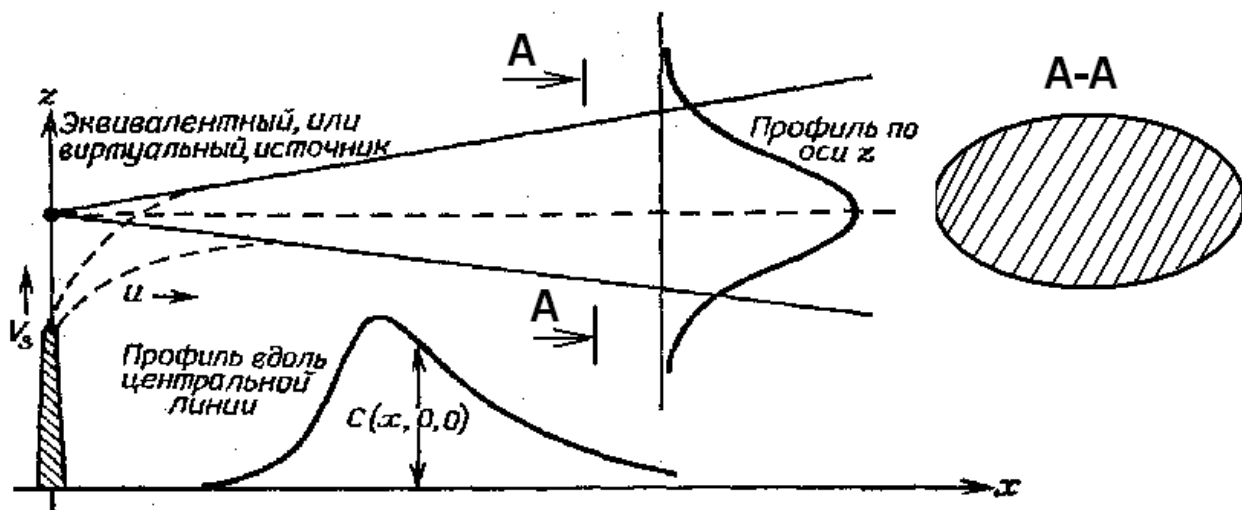


Рисунок 4.2 – Профили концентраций вдоль центральной линии  $X$  и вдоль оси  $Z$

Струя дыма распространяется вдоль (параллельно) оси  $X$ . Овальные фигуры являются сечением упрощенной струи. Профили концентраций подчиняются законам нормального распределения.

Основное уравнение рассеяния в гауссовой теории имеет вид:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] \left\{ \exp \left[ \frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[ \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}, \quad (4.1)$$

где  $C$  – концентрация в некоторой точке с координатами  $x$ ;  $y$ ;  $z$ ; г/м<sup>3</sup>;

$M$  – мощность выброса, г/с;

$H$  – высота виртуального источника (сумма геометрической высоты трубы и начального подъема струи), м;

$u$  – средняя скорость ветра, м/с.

#### 4.2.1 Принятые допущения

При рассмотрении Гауссовой струи приняты следующие допущения:

1. рассеяние струи в горизонтальной и вертикальной плоскостях описывается гауссовым распределением со стандартными отклонениями распределения концентраций  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  по осям  $y$  и  $z$  соответственно;
2. действующая на струю средняя скорость ветра  $u$  является постоянной во всем слое распространения струи, направление ветра не меняется;
3. мощность выброса  $M$  постоянна;
4. имеет место отражение струи от поверхности земли, т.е. нет осаждения или взаимодействия струи с подстилающей поверхностью.

#### 4.2.2 Отражение струи от поверхности земли

Отражение струи от поверхности земли иллюстрирует приведенный рисунок 4.3. Из рисунка 4.3 видно, что отражение на некотором расстоянии  $X$  математически эквивалентно наличию зеркального отражения источника с ординатой  $-H$ . Затененная площадь после точки  $I$  на диаграмме показывает область атмосферы, в которой концентрация увеличивается сверх той, которая соответствует источнику с высотой  $H$ . Это увеличение концентрации определяется математически линейной суперпозицией двух кривых гауссова типа, одной с центром на высоте  $H$  и другой – на высоте  $-H$ .

Это эквивалентно объединению двух уравнений: одно из них содержит член  $(z + H)$ , другое – член  $(z - H)$ . В итоге уравнение для концентрации для приподнятого источника с учетом отражения можно представить в виде формулы (4.1).

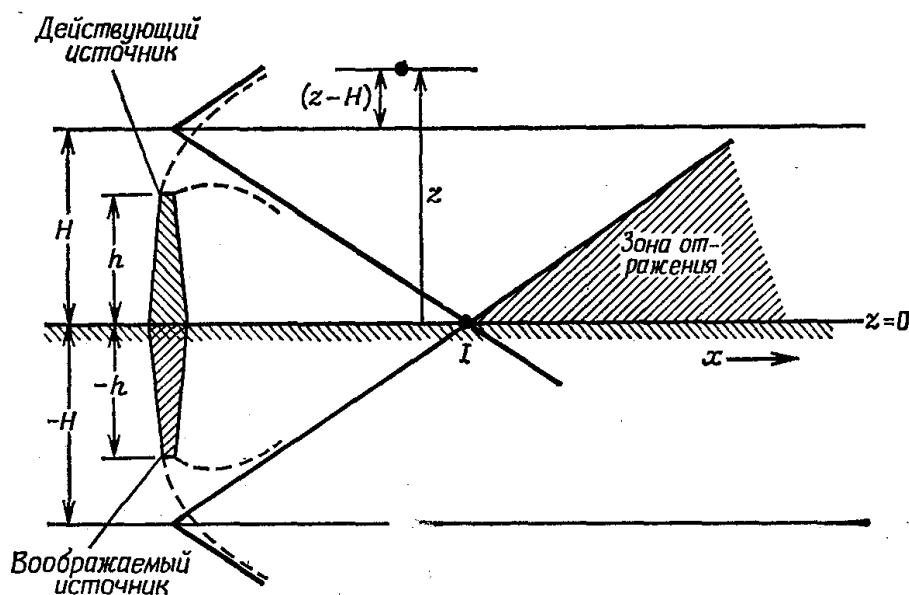


Рисунок 4.3 – Схема отражения струи от поверхности земли

#### 4.3 Частные случаи расчета приземных концентраций

Для расчета концентрации только у поверхности земли (координата  $Z = 0$ ) уравнение (4.1) приобретает вид:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Для расчета концентрации у поверхности земли, вдоль осевой линии струи (координаты  $Z = 0, Y = 0$ ) уравнение (4.1) приобретает вид:

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Для расчета концентрации у поверхности земли, вдоль осевой линии струи, для наземного источника (координаты  $Z = 0, Y = 0, H = 0$ ) уравнение (4.1) приобретает вид:

$$C(x, 0, 0, 0) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z}.$$

#### 4.4 Практическое использование уравнений Гауссовой теории

Для практического использования приведенных уравнений помимо физических данных (координаты, мощность выброса, эффективная высота источника) необходимо также знать величины  $u$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ .

Обычно используют значение скорости  $u$ , усредненное по всей струе. Из-за трудностей её определения принимают среднюю скорость ветра на уровне горловины трубы.

Коэффициент боковой (поперечной) диффузии  $\sigma_y$  характеризует собой горизонтальное расширение струи в направлении, перпендикулярном направлению движения.

Коэффициент вертикальной диффузии  $\sigma_z$  характеризует собой расширение струи по вертикали.

Значения  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  (горизонтальное и вертикальное стандартное отклонение) зависят от положения точки  $X$  в направлении ветра от источника и от условий устойчивости атмосферы.

Значения  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  определяют по диаграммам, полученным экспериментальным путем (рис. 4.4 и рис. 4.5).

$A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  – различные классы устойчивости атмосферы:  $A$  – соответствует наибольшей неустойчивости (ясное небо, высота солнца над горизонтом более  $60^\circ$ , типичный летний солнечный день после полудня. Очень конвективная атмосфера);  $F$  – соответствует наибольшей устойчивости.

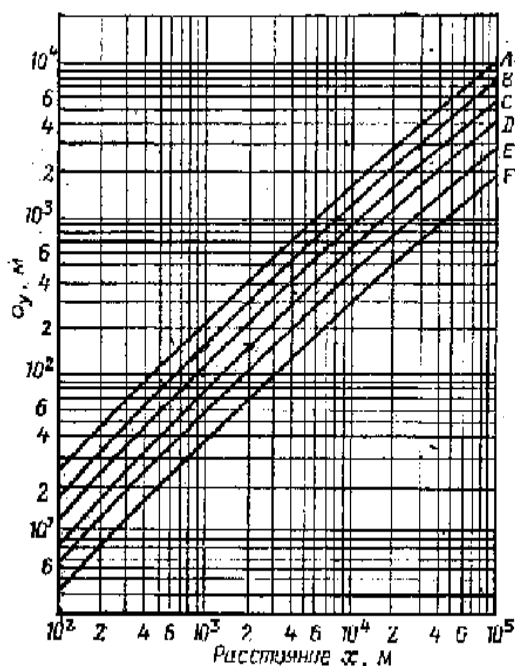


Рисунок 4.4 – Стандартное отклонение  $\sigma_y$  по горизонтальной оси

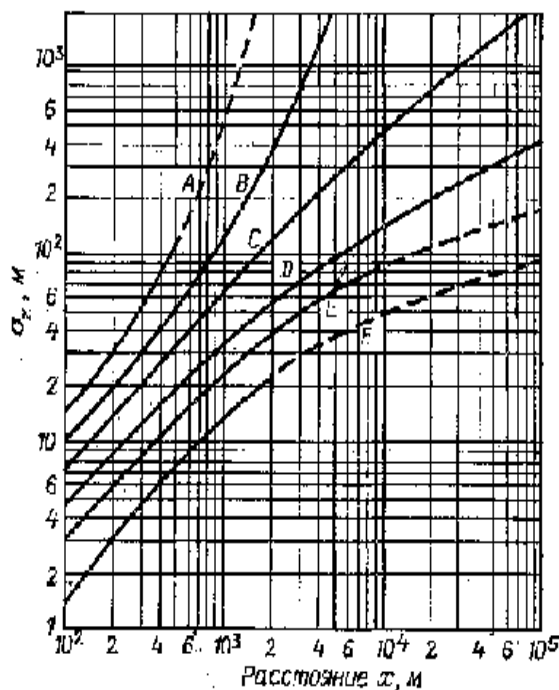


Рисунок 4.5 – Стандартное отклонение  $\sigma_z$  по вертикальной оси

#### 4.5 Методика определения категории (класса устойчивости) атмосферы

Значения  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  связаны с коэффициентами диффузии или коэффициентами массовой диффузии газа через другую неподвижную среду в направлении осей  $y$  и  $z$ . Из физического характера проблемы диффузии следует, что горизонтальное и вертикальное стандартные отклонения являются функциями положения точки  $x$  в направлении ветра от источника, а также функциями условий устойчивости атмосферы. Для оценки величин  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  и определения их взаимосвязи проведены многочисленные экспериментальные исследования в атмосфере. Один из наиболее широко распространённых наборов диаграмм приведены на рисунках 4.4 и 4.5. Эти диаграммы получены с учетом следующих ограничений:

1. концентрации, получаемые по этим диаграммам, соответствуют времени отбора проб около 10 минут;
2. горизонтальное и вертикальное стандартные отклонения соответствуют земной поверхности для открытой сельской местности;
3. оцениваемые концентрации наиболее близки к реальным величинам только в пределах нескольких сотен метров от поверхности земли.

При этом значения  $\sigma_z$  менее достоверны, чем значения  $\sigma_y$ , что отмечено штриховыми линиями на диаграмме « $\sigma_z - X$ ». Это особенно справедливо для расстояний более 1 км в направлении ветра.

Для приближенного определения устойчивости используют способы, основанные на наземных наблюдениях, такие как способы Паскуилла и Тернера. Способ Тернера по сравнению с классами устойчивости по Паскуиллу характеризуется более детальным учетом термических факторов и состояний, классифицируемых как устойчивые, и введение в рассмотрение ситуаций, квалифицируемых как очень устойчивые.

Характеристика классов устойчивости атмосферы по Тернеру:

- 1 – очень неустойчивая;
- 2 – умеренно неустойчивая;
- 3 – слабо неустойчивая;
- 4 – безразличная;
- 5 – слабо устойчивая;
- 6 – умеренно устойчивая;
- 7 – очень устойчивая.

Качественное соотношение между классами Тернера и Паскуилла приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Соотношение между классами Тернера и Паскуилла

Тернер	1	2	3	4	5	6	7
Паскуилл	A	B	C	D	E	E	F

Перечисленные ниже пункты соответствуют классам, приведенным в таблице 4.1.

1. Ясное небо высота солнца над горизонтом более  $60^\circ$ , типичный солнечный летний день после полудня. Очень конвективная атмосфера.
2. Летний день со слабой разрозненной облачностью.
3. Типичный солнечный летний день после полудня ближе к вечеру, летний день с разрозненной низкой облачностью или летний день с ясным небом и высотой солнца над горизонтом от  $15^\circ$  до  $35^\circ$ .

При исследовании рассеяния выбросов от какого-либо источника обычно выбирают такой класс устойчивости, типичный для данного района, который дает наихудшие характеристики точки зрения загрязнения атмосферы.

Основой для определения класса устойчивости атмосферы по данной методике является индекс инсоляции  $n$ . В общем случае он определяется по времени суток согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Индекс инсоляции  $n$  в зависимости от времени суток

День		Ночь	
Высота солнца, град	Индекс инсоляции $n$	Время после захода солнца, ч	Индекс инсоляции $n$
0—15	1	0—2	–1
15—30	2	2—7	–2
30—45	3	Более 7	–3
45—60	4		
Более 60	5		

При наличии дополнительной информации об облачности, видимости и снежном покрове вводится соответствующая поправка к индексу инсоляции (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Поправка к индексу инсоляции  $n$  на облачность и видимость

Облачность, баллы	Высота облаков, м	Видимость, м	Исходный индекс инсоляции $n$							
			–3	–2	–1	1	2	3	4	5
			Поправленный индекс инсоляции $n'$							
10	Менее 2000	Менее 1000	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Менее 2000	Более 1000	0	0	0	1	1	1	1	2
10	Более 2000	Любая	0	0	0	1	1	2	3	4
6—9	Более 2000	Любая	–1	–1	–1	1	1	1	2	3
6—9	2000—5000	Любая	–1	–1	–1	1	1	2	3	4
4—6	2000—5000	Любая	–2	–1	–1	1	2	3	4	5

При облачности ночью  $\leq 4$  баллов, днем  $\leq 5$  баллов любого яруса или 6-9 баллов верхнего яруса поправка на облачность не вводится. При полном снежном покрове после поправки на облачность вводится дополнительная поправка: 1 заменяется на минус 1, все остальные значения уменьшаются на 1.

Балл облачности – степень закрытия облаками небосвода в десятых долях. Облачность 10 баллов – сплошная облачность, 6-9 баллов – больше половины небосвода покрыто облаками, 4-6 баллов – около половины. Класс устойчивости по Тернеру определяется на основе исправленного индекса инсоляции  $n'$  и скорости ветра  $V$  на высоте 10 м стандартным образом (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Определение класса устойчивости по Тернеру через скорость ветра  $V$  на высоте 10 м и исправленный индекс инсоляции  $n'$

$V, \text{ м/с}$	$n'$								
	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3
0—1,5	1	1	1	2	3	4	6	7	7
1,5—2,0	1	1	2	2	3	4	5	6	7
2,0—2,5	1	1	2	2	3	4	5	6	6
2,5—3,0	1	2	2	3	3	4	5	6	6
3,0—4,5	1	2	2	3	4	4	4	5	6
4,5—5,5	2	2	3	3	4	4	4	5	5
5,5—6,5	2	3	3	3	4	4	4	4	5
6,5—7,5	2	3	3	4	4	4	4	4	5
Более 7,5	3	4	4	4	4	4	4	4	4

#### 4.6 Определение максимума приземной концентрации и его положения

Как было отмечено ранее эффект отражения от земли приводит к возрастанию приземных концентраций газообразных загрязнителей с увеличением расстояния  $x$  по сравнению с тем, что можно было бы ожидать без учета отражения. Однако такой рост с увеличением расстояния не может продолжаться непрерывно. В конце концов, диффузия в направлениях, перпендикулярных направлению ветра, вдоль осей  $y$  и  $z$ , уменьшит концентрацию на уровне земли ( $z=0$ ) и вдоль центральной линии ( $y=0$ ). Таким образом, кривая зависимости  $C$  от  $x$  проходит через максимум, а затем начинает уменьшаться, стремясь к нулевому значению при больших значениях  $x$ .

Один из методов определения положения и величины максимума концентрации основан на использовании характеристик  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$ .

При умеренной неустойчивости, близкой к безразличным условиям, отношение  $\sigma_y/\sigma_z$  почти не зависит от расстояния  $x$ . Если это отношение принять постоянным и положить  $y = 0$ , то уравнение

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (4.2)$$

может быть записано так, что  $C$  будет функцией только  $\sigma_z$ , (которое в свою очередь зависит только от  $x$  для данного класса устойчивости). В этом случае, используя известный из дифференциального исчисления метод максимизации,



можно получить аналитическое выражение, определяющее максимальную концентрацию вдоль центральной линии и с достаточной точностью определить положение максимума концентрации.

Результат дифференцирования уравнения (4.2) в его модифицированной форме приводит к следующему выражению:

$$\sigma_z = \frac{H}{\frac{1}{2^2}} = 0,707H$$

Таким образом, зная высоту трубы  $H$ , можно определить значение  $\sigma_z$ . Затем из диаграммы зависимости  $\sigma_z$  от  $x$  с учетом условий устойчивости атмосферы можно получить значение  $x$ , которое дает положение максимума  $C$ . Величина  $x$  определяется таким методом лишь приближенно, отражая неточность построения диаграммы « $\sigma_z - x$ ».

Если условие  $H^2 = 2\sigma^2 z'$  подставить в уравнение (4.2) и положить  $y = 0$ , то максимальная приземная концентрация на центральной линии в направлении ветра будет примерно равна

$$C_{max, отр} = \frac{0,1171M}{u\sigma_y\sigma_z}$$

Это выражение дает наилучшие результаты в условиях неустойчивой атмосферы.

#### 4.7 Рассеяние в атмосфере аэрозолей

Количество аэрозольного вещества, которое может быть выброшено в окружающую среду, ограничивается величиной предельно- допустимого выброса (ПДВ). Для достижения ПДВ обычно необходимо использовать эффективные системы ограничения уровня эмиссии. Но даже при использовании такого рода систем небольшая часть общего количества частиц попадает в атмосферу с отходящими газами. На предприятиях, где нет систем очистки, количество выбрасываемого твердого вещества может быть особенно велико. Для выполнения нормативов выбросов необходим прогноз интенсивности выпадения аэрозолей на подстилающую поверхность на различных расстояниях от источника.

Существует несколько способов прогнозирования интенсивности выпадения

ния частиц, выбрасываемых дымовыми трубами. Наиболее удобными являются модификации уравнения *Саттона*, примененного для случая газовой эмиссии из дымовых труб.

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

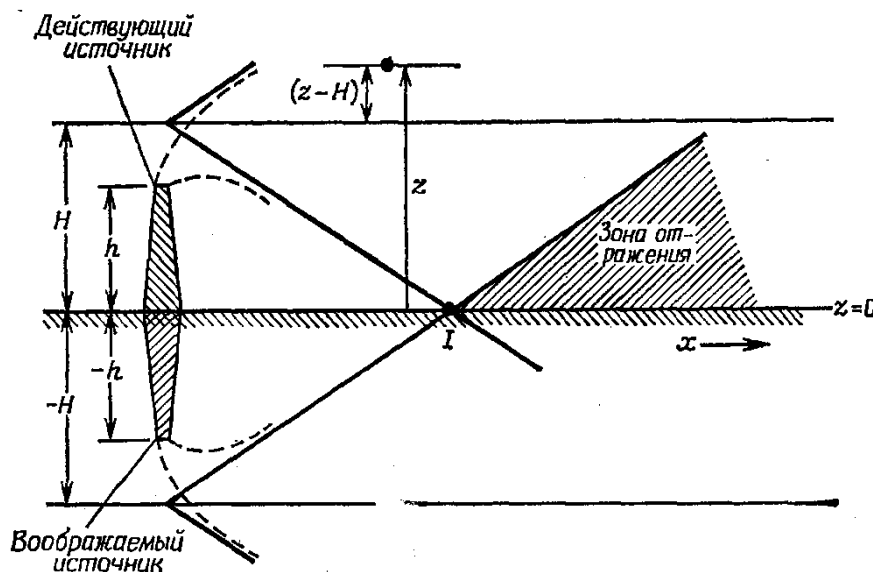


Рисунок 4.6 – Схема отражения струи от поверхности земли

Этот метод предполагает распределение загрязняющего вещества по осям  $y$  и  $z$  Гауссова типа. Массовые коэффициенты диффузии в направлении этих двух координат выражаются через стандартные отклонения  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$ , которые в свою очередь являются функциями координат в пространстве и типа атмосферной устойчивости. Выражение для рассеяния газов от трубы с эквивалентной высотой  $H$ , без учета эффектов отражения, может быть записано в виде:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

Термин «без учета эффектов отражения» означает, что в случае выброса частиц поверхность земли действует как их поглотитель. В случае выброса газов подстилающая поверхность в большинстве случаев является отражающей, и это отражение увеличивает газофазную концентрацию загрязнителя.

Кроме поправки на «неотражаемость» в уравнение Гауссова типа рассея-

ния необходимо внести еще одно очень важное изменение. Газообразные загрязнители не подвержены действию силы тяжести, в то время как движение твердых частиц сильно зависит как от действия силы тяжести, так и от действия среды носителя, связанного с перемещением воздушных масс. Следовательно, уравнение рассеяния должно учитывать действие этих сил.

По существу, действие силы тяжести на рассеяние частиц проявляется в том, что осевая линия выброса по мере переноса загрязнителя по ветру отклоняется вниз. В сравнении с совершенно горизонтальной осью шлейфа газообразной эмиссии шлейф аэрозольного вещества имеет наклон вниз.

Вследствие действия силы тяжести величина  $H$  в Гауссовом уравнении рассеяния должна быть скорректирована относительно постоянного оседания частиц. Длина свободного падения после вылета частицы из трубы будет равна произведению  $(V_t \times t)$  скорости оседания частицы  $V_t$  и времени  $t$ , за которое основной поток загрязнителя достигает расстояния  $x$  по ветру. Это же время  $t$  определяется как  $x/u$ . Следовательно, длина свободного падения, на которую должна быть скорректирована величина  $H$ , составляет  $V_t x/u$ . Это эквивалентно снижению осевой линии гауссова распределения по оси  $Z$  на величину  $V_t x/u$ . Таким образом, учитывая влияние силы тяжести, изменение концентрации частиц можно описать в общем виде следующим уравнением:

$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \exp - \frac{[z - (H - V_t x/u)]^2}{2\sigma_z^2} \quad (4.3)$$

Особый интерес представляет приземная концентрация вдоль осевой линии шлейфа. Подставляя  $y = 0$  и  $z = 0$ , находим:

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{[(H - V_t x/u)]^2}{2\sigma_z^2} \quad (4.4)$$

В этой формуле  $M$  – интенсивность выброса частиц выражена в г/с,  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  – в метрах. Величина  $M$  относится к одному размеру частиц, характеризующихся скоростью оседания (витания)  $V_t$ , которую рассчитывают по формуле:

$$V_t = \frac{d_p^2 g \rho_p}{18 \mu_g}$$

Наряду с оценкой концентрации частиц  $C$  в данной точке важно определить результат рассеяния частиц в виде массы, выпадающей в единицу времени на единицу площади  $w$  (интенсивность выпадения частиц).

Соотношение между  $C$  и  $w$  представлено ниже.

$$w = \frac{\text{мас. скор\_переноса}}{\text{площадь}} = \frac{(\text{объемн.скорость}) * (\text{концентрация})}{\text{площадь}} =$$

$$= (\text{линейная скорость}) * (\text{концентрация}) = V_t * C$$

Следовательно, интенсивность выпадения частиц на подстилающую поверхность вдоль осевой линии шлейфа определяется как по формуле:

$$w = \frac{MV_t}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{[(H - V_t x/u)]^2}{2\sigma_z^2},$$

где  $M$  – массовый выброс, г/с;

$V_t$  – скорость оседания частиц, м/с;

$w$  – интенсивность выпадения частиц, г/(м<sup>2</sup>с);

$u$  – скорость ветра, м/с.

Поскольку в уравнении используется скорость оседания  $V_t$ , естественно, что величина  $w$  представляет собой интенсивность выпадения частиц данной плотности и среднего диаметра. Для определения общей интенсивности выпадений должны быть оценены весовые вклады фракций частиц различных размеров в общую интенсивность выброса.

Выведенное уравнение рассеяния предполагает, что абсолютно все частицы со скоростью оседания  $V_t$  выпадают до определенного расстояния по ветру. Это расстояние определяется временем, необходимым для оседания частицы с эффективной высоты  $H$ .

Это время равно  $H / V_t$  и также должно быть равно  $X_{max} / u$ , где  $X_{max}$  – максимальное расстояние по ветру, на которое может быть перенесена частица с характерной скоростью оседания  $V_t$ . Расстояние  $X_{max}$ , эквивалентно такому удалению по ветру, где осевая линия «нисходящего» шлейфа касается земной поверхности. Отсюда следует, что уравнения (4.3) и (4.4) не имеют физического смысла для расстояний, превышающих значение  $X = H \cdot u / V_t$  (получено из  $X / u = H / V_t$ ).

Другой подход к оценке выпадений пыли от труб был предложен по результатам исследования работы электростанций в Англии. Интенсивность выпадений вдоль оси шлейфа определяется следующим уравнением:

$$w = \frac{16,4M}{H^2} F\left(\frac{V_t}{u}, \frac{x}{H^2}\right) \quad (4.5)$$

Значение функции  $F$  находят из графиков, где абсциссой служит безразмерный параметр  $x/H$ , при этом функция рассчитана для различных значений безразмерного параметра  $V_t/u$ .

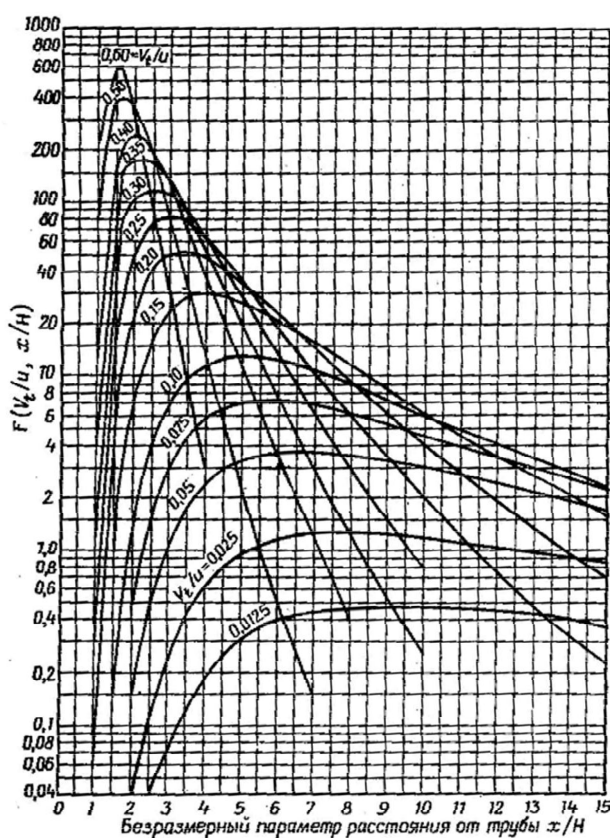


Рисунок 4.8 – Зависимость функции  $F\left(\frac{V_t}{u}, \frac{x}{H^2}\right)$  от параметра  $x/H$

Если из трубы с эквивалентной высотой  $H$  в поле ветра с известной скоростью  $u$  выбрасываются частицы одинакового размера, то уравнение (4.5) позволяет рассчитать интенсивность выпадений вдоль осевой линии. Однако более распространен случай, когда аэрозольное вещество состоит из частиц в широком диапазоне размеров, вплоть до нескольких сотен микрометров.

В этом случае для решения уравнения (4.5) оценивается среднее значение

$F$ . Это осуществляется путем разделения всего диапазона размеров на отдельные фракции. Для расчетов необходимо знать весовую долю частиц в каждой фракции, что может быть определено любым стандартным методом. Затем необходимо определить величину  $F$ ; для каждой фракции при выбранных значениях  $u$ ,  $x$  и  $H$ . Далее требуемая средняя величина  $F$  может быть найдена как сумма произведений  $F$ ; на весовой вклад каждой фракции.

## **5 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**

### **5.1 Теория атмосферной диффузии. Уравнение турбулентной диффузии**

Развитие методов прогноза основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей, выбрасываемых источниками загрязнения атмосферы.

Первое направление изучения распространения примесей состоит в разработке теории атмосферной диффузии на основе математического описания процесса с помощью уравнения турбулентной диффузии. Оно позволяет исследовать распространение примесей от источников различного типа при разных характеристиках среды.

В общем виде задача прогноза загрязнения воздуха математически может быть определена как решение при определенных начальных и граничных условиях дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 U_i \frac{\partial C}{\partial X_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial X_i} K_i \frac{\partial C}{\partial X_i} - aC, \quad (5.1)$$

где  $t$  – время;

$X_i$  – координаты;

$U_i$  – составляющие средней скорости перемещения примеси;

$K_i$  – составляющие коэффициента обмена;

$i$  – направление осей координат,  $i=1, 2, 3$ ;

$a$  – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет превращения примеси.

$C$  – концентрация примеси.

Применим декартову систему координат, обозначим горизонтальные оси  $X_1$  и  $X_2$  через  $X$  и  $Y$ , вертикальную ось  $X_3$  через  $Z$ , соответственно скорости  $U_1 = u$ ;  $U_2 = v$ ;  $U_3 = w$ ; коэффициенты обмена  $K_1 = k_x$ ;  $K_2 = k_y$ ;  $K_3 = k_z$ .

Уравнение 5.1 приобретает вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC \quad (5.2)$$

При решении практических задач вид уравнения упрощается. Если ось  $X$  сориентирована по направлению средней скорости ветра, то  $v = 0$ .

Вертикальные перемещения в атмосфере над однородной горизонтальной поверхностью малы и можно считать  $w = 0$ , если примесь легкая и не имеет собственной скорости перемещения.

Если рассматривается тяжелая примесь, постепенно оседающая в атмосфере под действием гравитационных сил, то  $w$  представляет собой скорость осаждения, которая входит в уравнение со знаком минус.

При наличии ветра можно пренебречь членом  $k_x$ , учитывающим диффузию по оси  $X$ , поскольку в этом направлении диффузионный поток примеси значительно меньше конвективного.

Изменения концентраций в атмосфере со временем носит обычно квазистационарный характер и поэтому можно принять  $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ .

Таким образом, уравнение 5.2 можно свести к виду:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

В случае легкой примеси уравнение 5.2 имеет вид:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z} - aC.$$

При рассмотрении сохраняющейся примеси уравнение 5.2 выглядит так:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C}{\partial z}.$$

## 5.2 Аналитическое решение уравнения диффузии.

### Особенность распределения наземной концентрации вдоль оси факела

При прогнозе загрязнения воздуха основной интерес представляет определение ожидаемых концентраций в приземном слое  $h = 1,2 - 2$  м ( $5 \div 100$  м)

Как показали исследования, в приземном слое воздуха до уровня  $z = h$  коэффициент обмена возрастает пропорционально высоте; скорость является логарифмической функцией высоты.

При  $z = 0$  (на уровне поверхности земли) можно приближенно принять в качестве предельного значения  $k_z = k_0$  – коэффициент молекулярной диффузии для воздуха.

Аналитическое решение уравнения диффузии можно записать для случая, когда  $u$  и  $k_z$  заданы степенными функциями от  $z$  ( $u = u_1 z^n$ ;  $k_z = k_1 z$ ) для легкой сохраняющейся примеси ( $w = a = 0$ ).

Наземная концентрация  $C$  (при  $z = 0$ ) может быть рассчитана по формуле:

$$C = \frac{M}{2(1-n)k_1\sqrt{\pi k_0}x^3} e^{\frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1 x} - \frac{y^2}{4k_0 x}},$$

где  $M$  – массовый выброс вещества от источника, мг/с;

$H$  – высота источника выброса, м.

Характерной особенностью распределения наземной концентрации  $C$  по оси  $X$  является наличие максимума ее  $C_m$  на расстоянии  $X_m$  от источника. Он находится из условия:  $\partial C / \partial x = \partial C / \partial y = 0$

Результаты расчета распределения концентрации примесей от одиночного точечного источника можно проиллюстрировать графически (рис. 5.1).

Расчеты показывают, что при одинаковых параметрах выбросов максимальная приземная концентрация примеси от более высокого источника меньше и наблюдается на большем расстоянии от источника.



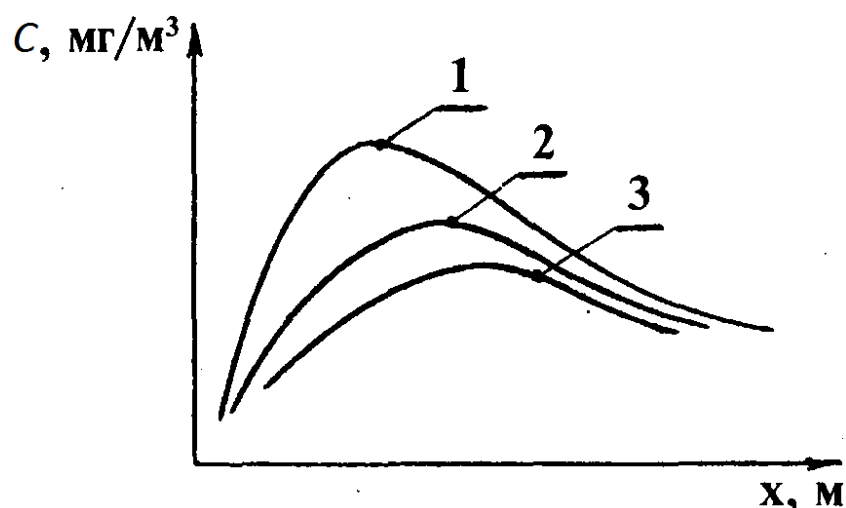


Рисунок 5.1 – Распределение концентраций примеси в воздухе от одиночного точечного источника различной высоты  $H$ :  $H_1 < H_2 < H_3$

## 6 МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ВЫБРОСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Основным документом, регламентирующим рассеивание и определение приземных концентраций примесей из источников выбросов в Украине и России, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86».

Методика разработана на базе ряда упрощений и усреднений. В ней отдельные факторы объединены в усредненные группы и численно учитываются комплексными обобщенными коэффициентами.

Методика предназначена для решения практических задач, связанных с прогнозом загрязнения атмосферного воздуха, и использует формулы, полученные на основе решения уравнения турбулентной диффузии.

Методика позволяет производить расчеты рассеивания примесей, выбрасываемых в атмосферу одиночными точечными, линейными источниками и группой источников, с учетом влияния рельефа местности, определять предельные концентрации загрязняющих веществ в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикальное распределение концентраций.

Степень загрязнения атмосферного воздуха определяется наибольшим расчетным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, опасной скорости ветра.

Для веществ, обладающих суммацией вредного действия, безразмерная суммарная концентрация  $q$  (в долях ПДК) и суммарная концентрация  $C$  (мг/м<sup>3</sup>),

приведенная к веществу  $C_1$ , рассчитывается с использованием для каждого источника значений мощности  $M_q$  и  $M$  соответственно:

$$q = C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n;$$

$$M_q = M_1 / \text{ПДК}_1 + M_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + M_n / \text{ПДК}_n;$$

$$C = C_1 + C_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + C_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n},$$

$$M = M_1 + M_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + M_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n},$$

где  $C_1, \text{ПДК}_1$  – концентрация и ПДК вещества, к которому осуществляется приведение;

$C_2, \dots, C_n$  и  $\text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  – концентрации и ПДК других веществ, входящих в рассматриваемую группу.

### 6.1 Расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного источника с круглым устьем

Максимальное значение приземной концентрации загрязняющего вещества  $C_m$ , (мг/м<sup>3</sup>) при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии  $X_m$  и определяется по формулам: (формула 6.1, а применяется для холодных выбросов, т.е. при  $\Delta T \approx 0$ )

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1} \Delta T}, \quad (6.1)$$

$$C_m = \frac{AMFn\eta}{H^{4/3}} * \frac{D}{8V_1} \quad (6.1a)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (140÷250 для стран СНГ);

$M$  – масса загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

$F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в воздухе; т,

$m, n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

$H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м; (для наземных источников принимается  $H = 2$  м);

$\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот не более 50 м/км принимается  $\eta = 1$ );

$V_l$  – объемный расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего воздуха, °С.

Максимальная концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы прямо пропорциональна массовому расходу загрязняющего вещества  $M$  и обратно пропорциональна квадрату высоты источника  $H^2$ .

Коэффициент  $A$  при неблагоприятных метеорологических условиях, обеспечивающих максимальные значения концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, имеет следующие значения на территории Украины:

- для источников севернее 52° с. ш.  $A = 160$ ;
- для источников в зоне от 50 до 52° с. ш.  $A = 180$ ;
- для источников южнее 50° с. ш.  $A = 200$ .

При определении  $\Delta T$  температуру окружающего атмосферного воздуха принимают равной средней температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года в 13<sup>00</sup> по местному времени.

Значения коэффициента  $F$ :

- для газообразных загрязняющих веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость оседания которых близка к нулю,  $F = 1$ ;
- для прочих мелкодисперсных аэрозолей при степени очистки газов в пылеуловителе  $\eta \geq 0,9$   $F = 2$ ; при  $0,75 \leq \eta < 0,9$   $F = 2,5$ ; при  $\eta < 0,75$   $F = 3$ ;
- при наличии данных о дисперсном составе пыли в зависимости от соотношения  $V_g / U_m$  при  $V_g / U_m \leq 0,015$   $F = 1$ ; при  $0,015 < V_g / U_m \leq 0,03$   $F = 1,5$ ;

где  $V_g$  – скорость витания частиц такого диаметра  $d_g$ , что масса всех частиц диаметром больше  $d_g$  составляет 5% от общей массы частиц, м/с;

$Um$  – опасная скорость ветра, м/с.

Для получения значений коэффициентов  $m$  и  $n$  определяются следующие промежуточные коэффициенты по формулам:

$$f = \frac{1000 w_0^2 D}{H^2 \Delta T}; \quad (6.2)$$

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}}; \quad (6.3)$$

$$V_m^* = 1,3 w_0 \frac{D}{H}; \quad (6.4)$$

$$f_e = 800 (V_m^*)^3, \quad (6.5)$$

где  $D$  – диаметр устья дымовой трубы, м;

$w_0$  – скорость выхода газозооушной смеси из дымовой трубы, м/с.

Коэффициент  $m$  определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100, \text{ и } m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f \geq 100 \quad (6.6)$$

При  $f_e < f < 100$  при расчете  $m$  принимают  $f = f_e$ .

При  $f \leq 100$   $n$  определяется в зависимости от  $V_m$ :

$$\begin{aligned} n &= 1 && \text{при } V_m \geq 2 \\ n &= 0,532 V_m^2 - 2,13 V_m + 3,13 && \text{при } 0,5 V_m < 2 \\ n &= 4,4 V_m && \text{при } V_m < 0,5 \end{aligned} \quad (6.7)$$

Для определения коэффициентов  $m$  и  $n$  можно использовать графики, представленные на рисунках 6.1 и 6.2.

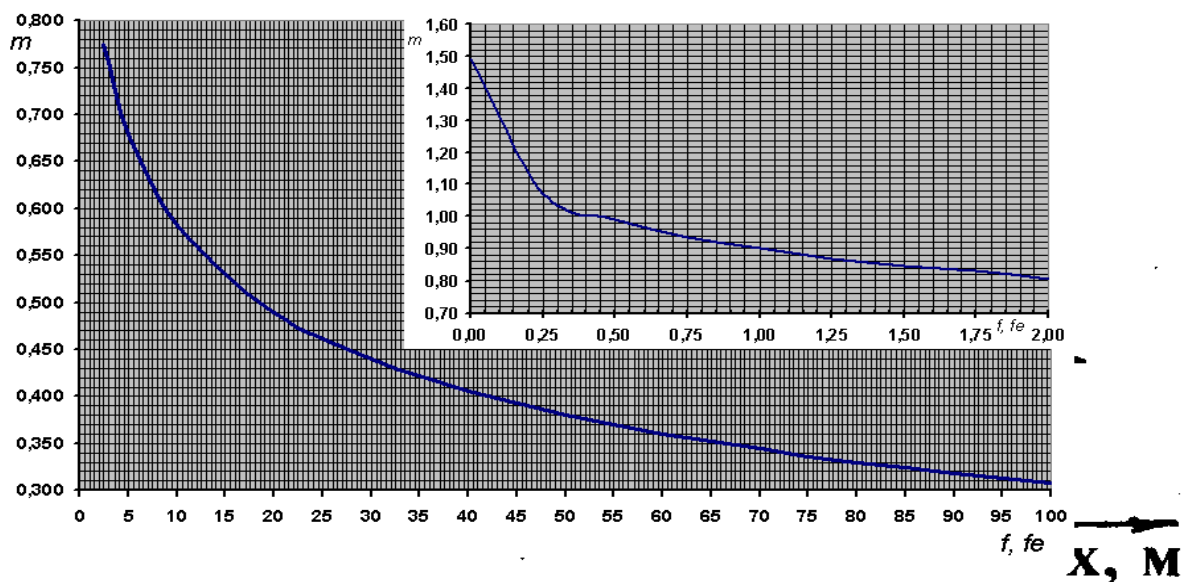


Рисунок 6.1 – Графики для определения коэффициента  $m$

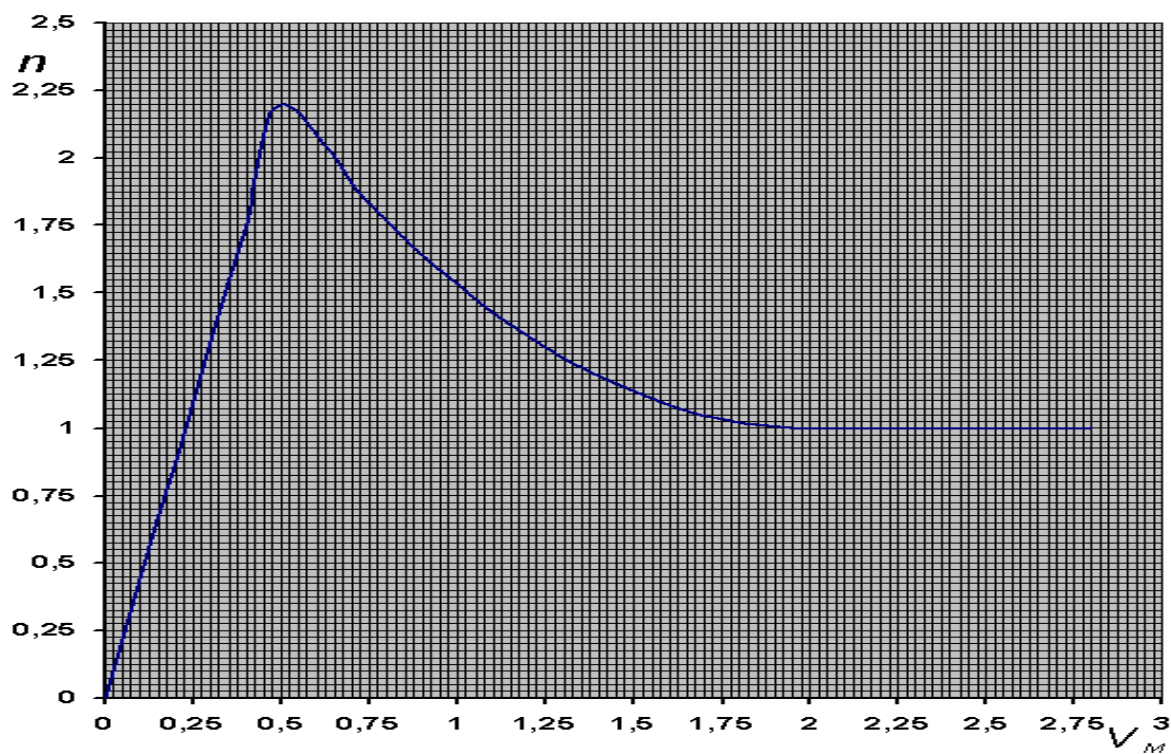


Рисунок 6.2 – График для определения коэффициентов  $n$

При  $f \geq 100$  или  $\Delta T \approx 0$  и  $V_M^I \geq 0,5$  (холодные выбросы) при расчете  $C_m$  вместо формулы (6.1) применяется (6.1,а):

$$C_m = \frac{AMFn\eta}{H^{\frac{4}{3}}} K,$$

$$\text{где } K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{W_0V_1}}. \quad (6.8)$$

$n$  определяется по формулам (6.7) с подстановкой вместо  $V_m$  значений  $V_m^l$ .

Аналогично при  $f < 100$  и  $V_m < 0,5$  или  $f \geq 100$  и  $V_m^l < 0,5$  (случаи предельно малых опасных скоростей ветра) расчет  $C_m$  вместо формулы (6.1) ведется по формуле:

$$C_m = \frac{AMFm^l\eta}{H^{\frac{7}{3}}}, \quad (6.9)$$

где  $m^l = 2,86m$  при  $f < 100$ ,  $V_m < 0,5$ ;

$m^l = 0,9$  при  $f \geq 100$ ,  $V_m^l < 0,5$ .

Расстояние  $X_m$  (м), на котором приземная концентрация  $C$ , мг/м<sup>3</sup> при неблагоприятных метеоусловиях достигает максимального значения  $C_m$ , определяется по формуле:

$$X_m = \frac{(5 - F)dH}{4}, \quad (6.10)$$

где  $d$  – безразмерный коэффициент рассчитывают по формулам:

При  $f < 100$ :

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } V_m \leq 0,5;$$

$$d = 4,95V_m(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \quad \text{при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$d = 7\sqrt{V_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \quad \text{при } V_m > 2.$$

При  $f > 100$  или  $\Delta T \approx 0$  значения  $d$  находят по формулам:

$$d = 5,7 \quad \text{при } V_m^l \leq 0,5,$$

$$d = 11,4 V_m^l \quad \text{при } 0,5 < V_m^l \leq 2,$$

$$d = 16\sqrt{V_m^l} \quad \text{при } V_m^l > 2.$$

Значение опасной скорости ветра  $U_m$ , при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации загрязняющих веществ  $C_m$ , рассчитывают по формулам:

При  $f < 100$ :

$$U_m = 0,5 V_m \text{ при } V_m \leq 0,5;$$

$$U_m = V_m \text{ при } 0,5 < V_m \leq 2;$$

$$U_m = V_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } V_m > 2.$$

При  $f \geq 100$  или  $\Delta T \approx 0$ :

$$U_m = 0,5 \text{ при } V_m^l \leq 0,5;$$

$$U_m = V_m^l \text{ при } 0,5 < V_m^l \leq 2;$$

$$U_m = 2,2 V_m^l \text{ при } V_m^l > 2.$$

При опасной скорости ветра  $U_m$ , (м/с) приземная концентрация загрязняющих веществ  $C$ , (мг/м<sup>3</sup>) в атмосфере по оси факела выброса на расстоянии  $X$  от источника определяется по формуле:

$$C_x = S_l C_m,$$

где  $S_l$  – безразмерный коэффициент, который определяется по формулам:  
(обозначение в формулах:  $a = X / X_m$ )

$$S_l = 3a^4 - 8a^3 + 6a^2 \text{ при } a \leq 1;$$

$$S_l = \frac{1,13}{0,13a^2 + 1} \text{ при } 1 < a \leq 8;$$

$$S_l = \frac{a}{3,58a^2 - 35,2a + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } a > 8;$$

$$S_l = \frac{1}{0,1a^2 + 2,47a - 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ и } a > 8;$$

Безразмерный коэффициент  $S_l$  можно определить также из графиков на рисунке 6.3.

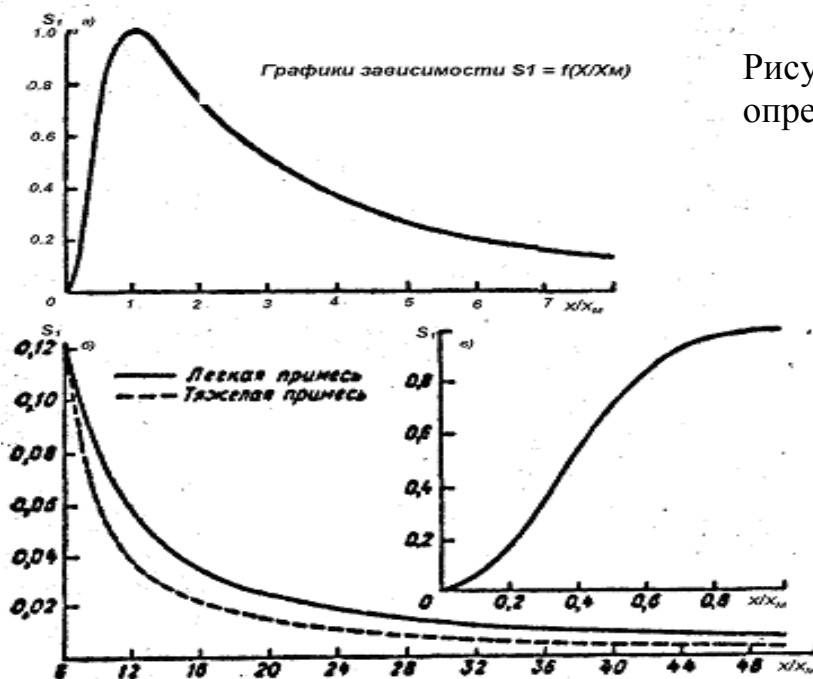


Рисунок 6.3 – Графики для определения коэффициента  $S_1$

Для низких и наземных источников при  $2m \leq H \leq 10$  м и  $X/X_m < 1$  величина  $S_1$  заменяется на  $S_{1H} = 0,125 \times (10-H) + 0,125 \times (H-2) \times S_1$ .

Значения приземной концентрации загрязняющих веществ в атмосфере  $C_y$ , мг/м<sup>3</sup>, на расстоянии  $y$ , м по перпендикуляру к оси факела выброса определяют по формуле:

$$C_y = S_2 C_x,$$

где  $S_2$  – безразмерный коэффициент (зависит от скорости ветра  $U$  и отношения  $y/x$ ) определяют по значению аргумента  $t_y$  по формуле:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2};$$

$$t_y = Uy^2/x^2 \text{ при } U \leq 5;$$

$$t_y = 5y^2/x^2 \text{ при } U > 5.$$



## 6.2 Расчеты загрязнения атмосферы выбросами источника с прямоугольным устьем

Расчеты загрязнения атмосферы при выбросах газовойдушной смеси из источника с прямоугольным устьем (шахты) проводятся по приведенным выше формулам при средней скорости  $\omega_o$  и значениях  $D = D_{\text{э}}$ , (м) и  $V_l = V_{l\text{э}}$  (м<sup>3</sup>/с).

Средняя скорость выхода в атмосферу газовойдушной смеси  $\omega_o$  (м/с) определяется по формуле:

$$\omega_o = \frac{V_1}{Lb},$$

где  $L$ (м) — длина устья;

$b$  (м) — ширина устья.

Эффективный диаметр устья  $D_{\text{э}}$  (м) определяется по формуле:

$$D_{\text{э}} = \frac{2Lb}{L + b}.$$

Эффективный расход выходящей в атмосферу в единицу времени газовойдушной смеси  $V_{l\text{э}}$  (м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле:

$$V_{l\text{э}} = \frac{\pi D_{\text{э}}^2}{4} \omega_o \quad (6.11)$$

*Радиус зоны влияния* для каждого источника рассчитывается как наибольшее из двух расстояний  $X_l$  и  $X_2$ , где  $X_l = 10X_m$ , а величина  $X_2$  — определяется как расстояние от источника, начиная с которого  $C \leq 0,05$  ПДК.

Значение  $X_2$  находят графически с помощью рисунка 6.3. На вертикальной оси откладывают точку  $0,05$  ПДК/ $C_m$ , через нее проводится параллельная оси горизонтальная линия до пересечения с графиком функции  $S_l = f(X/X_m)$  за максимумом. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на горизонтальную ось. Полученное значение  $X/X_m$  умножают на  $X_m$  и получают искомое значение  $X_2$ .

### 6.3 Расчет загрязнения атмосферы выбросами линейного источника

Примером линейного источника может служить аэрационный фонарь цеха.

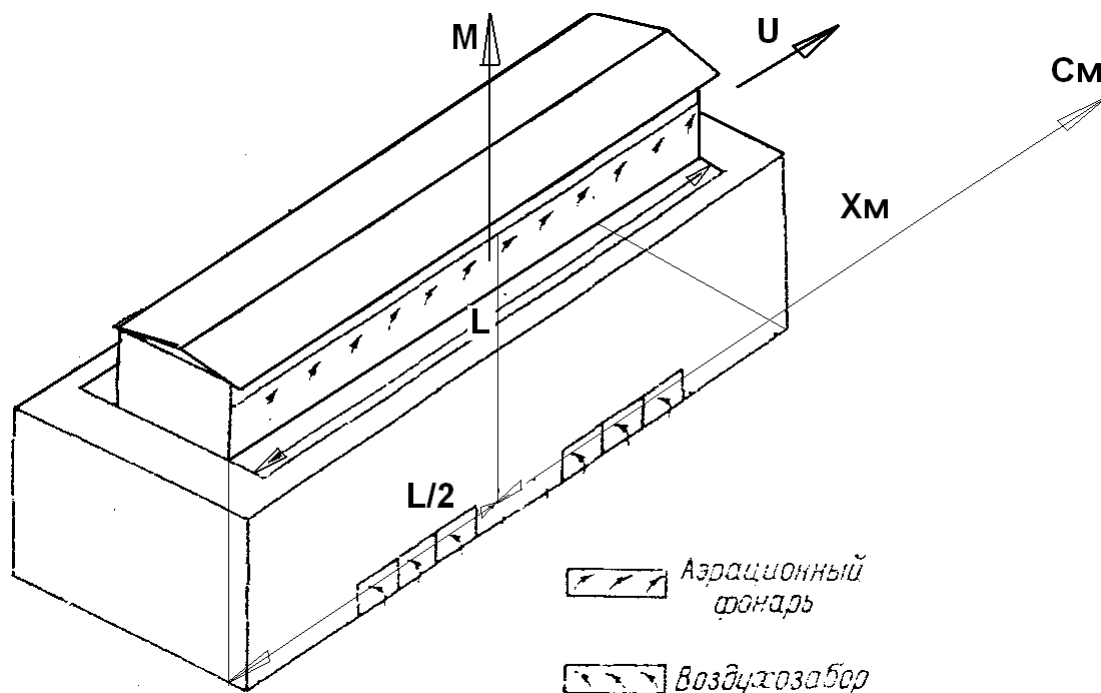


Рисунок 6.4 – Схема линейного источника – аэрационного фонаря

При расчете рассеивания выбросов от линейного источника длиной  $L$  наибольшая концентрация вредной примеси  $C_m$  достигается в случае ветра вдоль источника на расстоянии  $X_m$  от проекции его центра на земную поверхность. При рассмотрении аэрационного фонаря (рис. 6.4) как линейного источника значения  $C_m$  ( $\text{мг/м}^3$ ) и расстояния  $X_m$  (м) определяются по формулам:

$$C_m = S_3 C_m^I;$$

$$x_m = \frac{L}{2} + S_4 x_m^I$$

$$U_m = U_m^I$$

Здесь значения  $C_m^I$  и  $X_m^I$  а также соответствующее им значение  $U_m^I$  принимаются равными максимальной концентрации  $C_m$ , расстоянию  $X_m$  и опасной ско-

рости  $U_m$  для одиночного источника той же мощности  $M$  с круглым устьем диаметром  $D_э$  и расходом выбрасываемой газовой смеси  $V_{Iэ}$ . При этом эффективный диаметр устья фонаря  $D_э$  (м) определяется по формуле:

$$D_э = \frac{2LV_1}{L^2w_o + V_1}$$

где  $V_1$  – расход выбрасываемой из фонаря в единицу времени газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;

$w_o$  – средняя скорость выхода из фонаря газовой смеси, (м/с).

Величина  $V_{Iэ}$  определяется по найденному значению  $D_э$  и формуле (6.11).

За высоту источника выброса  $H$  (м) принимается высота над уровнем земли верхней кромки фонаря.

Безразмерные коэффициенты  $S_3$  и  $S_4$  определяются в зависимости от отношения  $L / X_m^I$  по формулам:

$$S_3 = \frac{1 + 0,45 L / X_m^I}{1 + 0,45 L / X_m^I + 0,1(L / X_m^I)^2}$$

$$S_4 = \frac{1}{1 + 0,6 L / X_m^I}$$

При произвольном направлении ветра по отношению к линейному источнику типа аэрационного фонаря этот источник условно представляется в виде группы  $N$  одинаковых равноудаленных точечных источников. Для каждого из этих одиночных источников значения максимальной концентрации вредной примеси  $C_m$  и соответствующих ей расстояния  $X_m$  и опасной скорости  $U_m$  определяются по формулам:

$$C_m = \frac{C_m^I}{N}; \quad X_m = X_m^I; \quad U_m = U_m^I.$$

Число одинаковых равноудаленных одиночных источников  $N$ , на которое делится аэрационный фонарь при расчетах, определяется (с округлением до ближайшего большего целого числа) по формуле:

$$N = \frac{5L\sqrt{u}}{x},$$

где  $x$  – наименьшее расстояние от аэрационного фонаря до расчетной точки на местности, м;

$U$  – расчетная скорость ветра, м/с.

#### **6.4 Расчет загрязнения атмосферы выбросами группы источников и площадных источников**

Приземная концентрация  $C$  вредных веществ в любой точке местности при наличии  $N$  источников определяется как сумма концентраций веществ от отдельных источников при заданном направлении и скорости ветра.

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N + C_\phi, \quad (6.12)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_N$  – концентрации вредного вещества соответственно от первого, второго,  $N$ -го источников, расположенных с наветренной стороны при рассматриваемом направлении ветра;

$C_\phi$  – фоновое загрязнение.

Слагаемое  $C_\phi$  в правой части уравнения добавляется в случае, когда имеются неучтенные (фоновые) источники выбросов того же вещества или веществ, обладающих с ним эффектом суммации (от других предприятий, других промышленных районов).

В целях ускорения и упрощения расчетов количество рассматриваемых источников выбросов сокращается путем их объединения (особенно мелких источников) в отдельные условные источники. Подобное объединение возможно при соблюдении определенных условий.

Значение максимальной суммарной концентрации от  $N$  расположенных на площадке близко друг от друга одиночных источников, имеющих равные значения высоты, диаметра устья, скорости выхода в атмосферу и температуры газозооушной смеси, определяется по формуле:

$$C_M = \frac{AMFmn\eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V\Delta T}}$$

где  $M$  – суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу, г/с;

$V$  – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси, определяемый по формуле  $V = V_I \cdot N$ , (м<sup>3</sup>/с).

Значение параметра  $V_m$  определяется по формуле:

$$V_m = 0,653 \sqrt{\frac{V \Delta T}{NH}}$$

В остальном схема расчета концентраций веществ для выбросов от группы близко расположенных источников не отличается от расчета выбросов одиночного источника.

В случае, когда  $C_m$  от группы мелких источников по рассматриваемому веществу не превышает 0,05 ПДК, указанные источники могут быть исключены из рассмотрения.

Для ускорения и упрощения расчетов приземных концентраций на каждом предприятии рассматриваются те из выбрасываемых вредных веществ, для которых соблюдаются условия:

$$\frac{M}{\text{ПДК}} \rightarrow \Phi \quad ;$$

$$\Phi = 0,01 \bar{H} \text{ при } \bar{H} > 10 \text{ м} ;$$

$$\Phi = 0,1 \text{ при } \bar{H} \leq 10 \text{ м} ,$$

где  $M$  – суммарное значение выброса от всех источников предприятия, соответствующее наиболее неблагоприятным из установленных условий выброса, включая вентиляционные источники и неорганизованные выбросы, г/с;

ПДК – максимальная разовая предельно допустимая концентрация мг/м<sup>3</sup>;

$\bar{H}$  – средневзвешенная по предприятию высота источников выброса, м.

$$\bar{H} = \frac{5 M_{(0-10)} + 15 M_{(11-20)} + 25 M_{(21-30)} + \dots}{M}$$

$$M = M_{(0-10)} + M_{(11-20)} + M_{(21-30)} + \dots ,$$

где  $M_{(0-10)}$ ,  $M_{(11-20)}$ ,  $M_{(21-30)}$  .... – суммарные выбросы вещества в интервале высот источников до 10 м включительно, 11-20 м, 21-30 м и т.д.

## 6.5 Решение обратных задач

Решение обратных задач предполагает определение мощности выброса  $M$  и высоты трубы  $H$ , соответствующих заданному урону максимальной приземной концентрации  $C_m$  при прочих фиксированных параметрах выбросов.

Мощность выброса  $M$  (г/с), соответствующая заданному значению максимальной концентрации  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>), определяется по формуле:

$$M = \frac{C_m H^2}{A F m n \eta} \sqrt[3]{V_1 \Delta T}.$$

В случае  $f \geq 100$  или  $\Delta T \approx 0$  – по формуле:

$$M = \frac{c_m H^{4/3}}{A F n \eta} \frac{8 V_1}{D}.$$

Значение минимальной высоты при горячих выбросах ( $\Delta T > 0$ ) первоначально определяется по формуле:

$$H = \left( \frac{A M F D \eta}{8 V_1 c_m} \right)^{3/4}$$

Если соблюдается неравенство  $H \leq w_0 \sqrt{10 / \Delta T}$ , то найденное значение  $H$  является окончательным. В противном случае предварительное значение минимальной высоты определяется по формуле:

$$H = \sqrt{\frac{A M F \eta}{C_m \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}}.$$

По найденному значению  $H$  определяются величины коэффициентов  $f$ ,  $V_m$ ,  $V_m^l$ ,  $f_e$  по формулам (6.2 – 6.5) и получают в первом приближении коэффициенты  $m = m_1$  и  $n = n_1$ . Если произведение  $m_1 \cdot n_1 \neq 1$ , то по величинам  $m_1$  и  $n_1$  определяют второе приближение  $H = H_2$  по формуле:

$$H_2 = H_1 \sqrt{m_1 n_1}$$

В общем случае  $(i+1)$  приближение  $H_{i+1}$  определяется по формуле:

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{\frac{m_i n_i}{m_{i-1} n_{i-1}}},$$

где  $m_1$  и  $n_1$  соответствуют  $H_1$ , а  $m_{i-1}$  и  $n_{i-1}$  —  $H_{i-1}$ .

Уточнение значения  $H$  необходимо производить до тех пор, пока найденные значения  $H_i$  и  $H_{i-1}$  практически будут равны друг другу (с точностью до 1 метра).

## 6.6 Учет влияния рельефа местности при расчете загрязнения атмосферы

Влияние рельефа местности на величину максимальной приземной концентрации учитывается безразмерным коэффициентом  $\eta$ .

Значение  $\eta$  устанавливается на основе анализа картографического материала, в радиусе до 50 высот наиболее высокого из размещаемых на промплощадке источника, но не менее чем до 2 км.

Если в окрестности рассматриваемого источника выбросов (предприятия) имеются отдельные изолированные препятствия, вытянутые в одном направлении (гряда, гребень, ложбина, уступ), то поправочный коэффициент на рельеф  $\eta$  определяется по формуле:

$$\eta = 1 + \varphi_1 (\eta_m - 1)$$

где  $\eta_m$  – безразмерная величина, зависит от форм рельефа и определяется по таблице 6.1 в зависимости от  $n_1$  и  $n_2$ :

$$n_1 = H / h_o \text{ (} n_1 \text{ определяется с точностью до десятых);}$$

$$n_2 = a_o / h_o \text{ (} n_2 \text{—с точностью до целых);}$$

$H$  – высота источника, м;

$h_o$  – высота (глубина) препятствия, м;

$a_o$  – полуширина гряды, холма ложбины или протяженность бокового склона уступа, м;

$x_o$  – расстояние от середины препятствия в случае гряды или ложбины и от верхней кромки склона в случае уступа до источника, м (рис. 6.9).

Значение функции  $\varphi_1$  определяется в зависимости от отношения  $|x_o l| / a_o$  по графикам (рис. 6.5), соответствующим различным формам рельефа.

Если препятствие представляет собой отдельный холм или ложбину (впадину), то  $h_o$  выбирается соответствующим максимальной (минимальной) отметке препятствия, а  $n_2$  – максимальной крутизне склона, обращенного к источнику.

Для источников выброса, расположенных в зоне влияния нескольких изолированных препятствий, определяются значения  $\eta$  для каждого препятствия и в расчете используется максимальное из них.



Учет влияния рельефа местности при определении расстояния  $X_m$ , где достигается максимум приземной концентрации, осуществляется путем умножения коэффициента  $d$  в формуле (6.10) на отношение

$$\frac{1,1}{\sqrt{\eta + 0,2}} \quad (6.12)$$

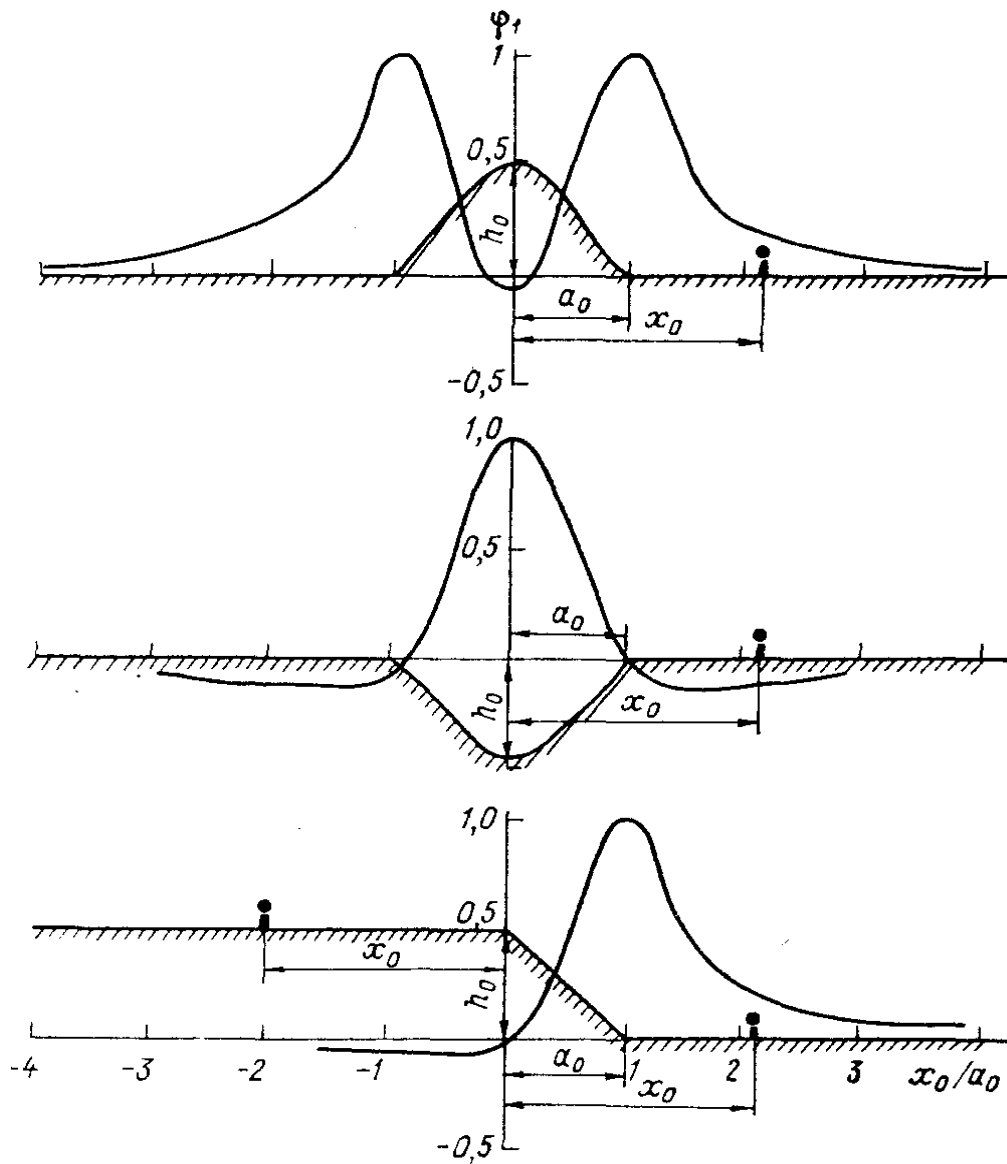


Рисунок 6.5 – Значения функции  $\varphi$  в зависимости от  $(x_0/a_0)$

Таблица 6.1 – Значения коэффициента  $\eta_m$ 

$n_1$	Ложбина (впадина)				Уступ				Гряда (холм)			
	$n_2$											
	4 - 5	6 - 9	10 - 15	16 - 20	4 - 5	6 - 9	10 - 15	16 - 20	4 - 5	6 - 9	10 - 15	16 - 20
< 0,5	4,0	2,0	1,6	1,3	3,5	1,8	1,5	1,2	3,0	1,5	1,4	1,2
0,6 - 1	3,0	1,6	1,5	1,2	2,7	1,5	1,3	1,2	2,2	1,4	1,3	1,0
1,1 - 2.9	1,8	1,5	1,4	1,1	1,6	1,4	1,2	1,1	1,4	1,3	1,2	1,0
3 - 5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,0
> 5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

При расчете приземных концентраций по оси факела на различных расстояниях от источника по формуле  $C_x = S_l C_m$  отношение  $X / X_m$  определяется с учетом поправки (6.12) для значений  $X < 6,2 X_m^{(0)} \sqrt{\eta - 1}$  ( $X_{(o)m} = X_m$  при  $\eta = 1$  – условия ровной или слабо пересеченной местности),.

Для больших значений  $X$  при вычислении  $X / X_m$  используются значения  $X_m = X_{m(o)}$ .

## 7 РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ПДВ (ВСВ) ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, устанавливают нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

ПДВ устанавливают из условия, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками не создают приземную концентрацию, превышающую *ПДК* за пределами санитарно-защитной зоны:

$$C + C_{\phi} \leq ПДК$$

где  $C$  – концентрация вещества в приземном слое от расчетного источника;

$C_{\phi}$  – фоновая концентрация этого же вещества.

Если на данном предприятии (группе предприятий), расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс – ВСВ. Норматив ВСВ устанавливают на период разработки и реализации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ.

Срок действия норматива ПДВ, как правило, не превышает 5 лет. При появлении новых производств, реконструкции действующих, изменении технологического процесса или в других случаях *изменения характеристик* выбросов нормативы ПДВ подлежат пересмотру.

Для каждого города на основании нормативов ПДВ предприятий и фонового состава атмосферного воздуха разрабатывают общегородские нормативы.

Соблюдение установленных нормативов качества атмосферного воздуха обеспечивает благоприятную экологическую обстановку в данном районе в соответствии с требованиями закона Украины об охране атмосферного воздуха.

Разработка нормативов ПДВ производится для всех предприятий, имеющих выбросы в атмосферу. Нормативы ПДВ являются основой для выбора мероприятий по защите атмосферы.

## **7.1 Исходные данные для разработки нормативов, инвентаризация источников выбросов**

Нормирование в области охраны атмосферного воздуха проводится с целью установления комплекса обязательных норм, правил, требований по охране атмосферного воздуха от загрязнения. (Согласно ст.31 Закона Украины "Об охране окружающей природной среды" и ст.4 Закона Украины "Об охране атмосферного воздуха»).

Основой для выполнения инвентаризации служит документ – *Инструкция о содержании и порядке составления отчета проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ на предприятии*. В Инструкции обобщены и изложены основные требования к порядку проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ и представления ее в органы Минприроды Украины; к оформлению отчета по проведению инвентаризации выбросов загрязняющих веществ.

Применение Инструкции обязательно при проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями, независимо от ведомственного подчинения и форм собственности.

Материалы инвентаризации используются для:

- разработки нормативов образования загрязняющих веществ, которые отводятся в атмосферный воздух при эксплуатации технологического и другого оборудования, сооружений и объектов;
- разработки нормативов предельно допустимых выбросов;
- регулирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- осуществление государственного учета в области охраны атмосферного воздуха;
- разработки краткосрочных и долгосрочных планов мероприятий предприятий;
- разработки экологических программ по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

При инвентаризации выбросов загрязняющих веществ используются материалы:

- прямых методов измерений, которые основываются на проведении непосредственных инструментальных измерений;
- расчетных методов;
- материалы технологического регламента и проектных показателей.

В необходимых случаях для расчета количественных характеристик вы-

бросов должны применяться отраслевые методики, утвержденные органами Минприроды.

Инвентаризацию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии выполняют специализированные организации, соответствующие подразделения предприятий, имеющих определенный опыт работы, техническое оборудование и находятся на учете в Минприроды Украины. Отчет об инвентаризации выбросов загрязняющих веществ подается в органы Минприроды для регистрации в виде распечатанного отчета, а также на носителе информации по программе, утвержденной Минприроды Украины.

#### 7.1.1 Содержание отчета по проведению инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятии

Отчет по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ на предприятии должен иметь следующие разделы, содержащие соответствующую информацию:

##### *7.1.1.1 Сведения о предприятии*

Сведения о предприятии содержат следующую информацию:

- полное и краткое наименование предприятия;
- почтовый индекс, адрес;
- министерство или ведомство, которому подчинено предприятие;
- вид экономической деятельности в соответствии с классификатором;
- данные о наличии на предприятии службы по охране атмосферного воздуха, лаборатории по контролю состояния окружающей природной среды.

##### *7.1.1.2 Общая часть*

Общая часть содержит следующую информацию:

- цель и задачи выполнения инвентаризации выбросов;
- перечень договоров, на основе которых выполняются работы;
- наименование организации, выполнявшей работы по инвентаризации, ее реквизиты, копия регистрационного свидетельства;
- методики выполнения работ со ссылкой на стандарты, нормативы, нормативно-методическую литературу и справочный материал;

- методики, по которым проводились прямые инструментально-лабораторные измерения, средства измерения, их погрешность;
- методики, используемые при определении величин выбросов расчетным методом.

#### *7.1.1.3 Объемно-планировочные решения промплощадки*

Информация раздела включает:

- графические материалы: карта-схема предприятия с нанесенными корпусами и размещенными в них производствами, номер источника выброса, в т. ч. открытых участков хранения сырья и материалов, которые могут быть источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, стоянки автомобилей и т.д.;
- особенности размещения предприятия: характер застройки территории, прилегающей к промплощадке с указанием промышленных предприятий, на ней расположенных.

#### *7.1.1.4 Характеристика источников образования загрязняющих веществ*

В разделе предоставляются параметры источников образования загрязняющих веществ, характеристика технологии производства и технологического оборудования, описание продукции, выпускаемой предприятием, основное сырье, используемое, ее химический состав по ГОСТу или анализа заводской лаборатории (данные должны быть связаны с балансовой схемой материальных потоков), количество потраченного основного и резервного топлива, его качественные характеристики. При этом необходимо учитывать наличие в отходящих газах, загрязняющих веществ, образующихся в ходе ведения технологического процесса.

Определение загрязняющих веществ, их количественных и качественных характеристик предоставляется в соответствии с приложением А. Характеристика источников образования предоставляется по технологическому оборудованию, техпроцесса или его этапа. Количественная и качественная характеристики источников образования предоставляются на основе прямых измерений загрязняющих веществ, проектных данных или технологического регламента. В случае отсутствия одного из показателей (величины, определенной прямыми измерениями, взятой из проектных материалов или технологического регла-

мента) указывается причина невозможности их определения. предоставляется характеристика максимальных и минимальных фактических концентраций, полученные непосредственно инструментальными измерениями, при ведении технологического процесса по технологическим оборудованием (агрегатом) на каждом из этапов технологического процесса и соответствующему ему нагрузке, а также проектное значение концентраций ( $\text{мг/м}^3$ ) при номинальной нагрузке оборудования. В случае изменения проектных показателей указывается значение концентраций по последнему технологическому регламенту.

#### *7.1.1.5 Характеристика источников выбросов загрязняющих веществ*

В разделе предоставляются параметры источников выбросов, мощность и другие сведения в соответствии с приложением Б.

Определение загрязняющих веществ, их количественных и качественных характеристик производится на основе прямых измерений загрязняющих веществ, проектных данных (или технологического регламента) и расчетных методов. Величина выброса на основе прямых измерений, определяется на номинальной нагрузке технологического оборудования на различных этапах технологического процесса, которые существенно отличаются величинами выброса. При этом максимальной фактическую величину выброса принимается крупнейший выброс, который определен при обследовании технологического процесса. Проектная величина выброса берется из технологических регламентов, входящих в проектные материалы на строительство, реконструкцию, технологическое переоборудование и т.д., а в случае модернизации техпроцесса, в ходе их эксплуатации, по материалам последнего утвержденного технологического регламента. Величина выброса расчетным методом определяется в соответствии с методиками, согласованными с Минприроды Украины.

Показатели, предусмотренные таблицей 2.2 (графы 14 15-16, 17-18), которые выполнены прямыми измерениями, расчетными методами или взяты из проекта (или технологического регламента), являются обязательными. При этом, в случае отсутствия одного из показателей указывается причина невозможности его определения. Полученные показатели анализируются и при определенной величине принимается показатель, который наиболее отражает выбросы от действующего технологического оборудования при нормальных условиях его эксплуатации.

В разделе также подается информация о выбросах загрязняющих веществ от передвижных источников (учитываются выбросы загрязняющих веществ,

образующихся от передвижных источников в пределах промплощадки, от внутреннего заводского транспорта, стоянок автомобилей и т.д.). Расчет выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников проводится расчетными методами по методикам, согласованным органами Минприроды Украины. Первичные материалы результатов измерений и результаты, полученные расчетным методом, добавляются в отчет по инвентаризации.

#### *7.1.1.6 Характеристика газоочистных установок*

В разделе дается характеристика газоочистных установок, их техническое состояние, эффективность работы, параметры пылегазовоздушной смеси и другая информация в соответствии с приложением С.

#### *7.1.1.7 Характеристика выбросов загрязняющих веществ от основных производств*

Характеристика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от основных производств, перечень которых определяется органами Минприроды Украины, приводится в соответствии с приложением Д.

При определении годовых выбросов загрязняющих веществ учитывается коэффициент полезного действия (КПД) газоочистной установки (ГОУ). В случае 2-3 ступенчатой очистки КПД указывается в целом.

#### *7.1.1.8 Выводы и рекомендуемые меры по эксплуатации и наладке технологического оборудования и газоочистных установок*

В разделе приводится аналитический материал, касающийся особенностей эксплуатации на данном предприятии технологического оборудования и газоочистных установок, использование промышленных технологий, их соответствия мировому научно-техническому уровню, а также возможные меры по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.



## **7.2 Разрешение на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух**

Согласно статьи 11 Закона Украины «Об охране атмосферного воздуха», выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками могут осуществляться только после получения разрешения, которое выдается областными государственными администрациями (относительно объектов 2-й или 3-й группы), и Минприроды Украины (относительно объектов 1-й группы), по согласованию с центральным органом исполнительной власти, который реализует государственную политику в сфере санитарного и эпидемиологического благополучия населения (Госсанэпидслужба Украины и ее территориальные органы).

Процедура получения разрешения на выбросы установлена «Порядком проведения и оплаты работ, связанных с выдачей разрешений на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками, учета предприятий, учреждений, организаций и граждан - субъектов предпринимательской деятельности, которые получили такие разрешения», утвержденным постановлением Кабинета Министров Украины от 13 марта 2002 г. №302 (с изменениями от 07.08.2013г.). Срок действия разрешения - не меньше, чем 5 лет.

Для получения разрешения субъект:

- оформляет заявление;
- проводит инвентаризацию стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, видов и объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками, пыле-газоочистного оборудования;
- готовит документы, в которых обосновываются объемы выбросов загрязняющих веществ;
- проводит оценку влияния выбросов загрязняющих веществ на состояние атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны;
- разрабатывает планы мероприятий по: достижению установленных нормативов гранично-допустимых выбросов для наиболее распространенных и опасных загрязняющих веществ; охраны атмосферного воздуха на случай возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера; ликвидации причин и последствий загрязнения атмосферного воздуха; окончательного прекращения деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, и приведения места деятельности в удовлетворительное состояние; предотвращения превышения установленных нормативов

гранично-допустимых выбросов в процессе производства; осуществление контроля за соблюдением установленных нормативов гранично-допустимых выбросов загрязняющих веществ и условий разрешения на выбросы;

- обосновывает размеры нормативных санитарно-защитных зон, проводит оценку расходов, связанных с реализацией мероприятий по их созданию;

- проводит оценку и анализ расходов, связанных с реализацией запланированных мероприятий по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха;

- готовит информацию о получении разрешения для ознакомления с ней общественности в соответствии с законодательством.

Субъект ведения хозяйственной деятельности, объект которого принадлежит к 1-й группе, для получения разрешения подает Минприроды, а субъект ведения хозяйственной деятельности, объект которого принадлежит ко 2-й или 3-й группе, – разрешительному центру, в письменной и в электронной форме документы, подготовленные в соответствии с утвержденной Минприроды «Инструкцией об общих требованиях к оформлению документов, в которых обосновываются объемы выбросов», а также помещает в местных печатных средствах массовой информации сообщение о намерении получить разрешение, с указанием адреса местной государственной администрации, в которую могут посылаться замечания общественных организаций и отдельных граждан.

Оформление «Документов, в которых обосновываются объемы выбросов» (в печатном и электронном виде) осуществляется в соответствии с «Инструкцией об общих требованиях к оформлению документов, в которых обосновываются объемы выбросов, для получения разрешения на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками для предприятий, учреждений, организаций и граждан-предпринимателей», утвержденной Приказом Минприроды от 09.03.2006г. №108.

Минприроды и разрешительные центры передают Госсанэпидслужбе, ее территориальным органам, соответственно, заявление и документы на получение разрешения. Госсанэпидслужба, ее территориальные органы, в течение 15 календарных дней с даты поступления документов принимают решение относительно возможности/невозможности выдачи разрешения, которое посылается Минприроды и разрешительным центрам соответственно.

Местные государственные администрации рассматривают замечания общественных организаций, в случае необходимости, организуют проведение их публичного обсуждения, и в течение 30 календарных дней с даты опубликования информации о намерении субъекта ведения хозяйственной деятельности получить разрешение, сообщают об этом орган, который выдает разрешение.

После этого разрешение на выбросы выдается областными государственными администрациями (относительно объектов 2-й или 3-й группы), и Минприроды Украины (относительно объектов 1-й группы) в десятидневный срок.

Субъекты ведения хозяйственной деятельности для разработки документов, в которых обосновываются объемы выбросов, могут привлекать учреждения, организации и заведения, которым Минприроды предоставляет право на разработку таких документов.

Исходя из специфики этих работ, которые, как указано выше, подпадают под сферу государственного метрологического контроля, рекомендуется привлекать только специализированные организации. Такие специализированные организации должны быть зарегистрированы в установленном порядке и иметь регистрационное свидетельство, оформленное согласно требований «Порядка внесения учреждений, организаций и заведений, которые осуществляют разработку документов, которые обосновывают объемы выбросов, для предприятий, учреждений, организаций и граждан - субъектов предпринимательской деятельности, в перечень Минприроды Украины», утвержденного приказом Министерства экологии и природных ресурсов Украины от 01.10.2012г. №475.

Необходимым документом для получения разрешения на выбросы, является «Отчет проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ на предприятии».

Процедура проведения инвентаризации выбросов и оформления соответствующего отчета установлена «Инструкцией о содержании и порядке составления отчета о проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ на предприятии», утвержденной приказом Министерства охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины от 10 февраля 1995г. №7.

### **7.3 Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)**

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) разрабатывается как для действующих предприятий, так и в составе проектной документации на новое строительство (реконструкцию).

Материалы ОВОС в обязательном порядке разрабатываются для экологически опасных объектов и производств, согласно Постановлению КМУ №554 от 27.07.1995 г. «О перечне видов деятельности и объектов, представляющих повышенную экологическую опасность». Работа данных объектов без положительного заключения экологической экспертизы запрещена на основании ст.39 Закона Украины «Об экологической экспертизе».

Раздел проекта ОВОС выполняется в соответствии с требованиями ДБН.2.2-3-2012 «Состав и содержание проектной документации на строительство» и предусматривает разработку мероприятий по предотвращению возможных негативных экологических последствий проектируемой хозяйственной деятельности, снижение техногенной нагрузки и нормализации состояния окружающей природной среды.

При оценке воздействий на окружающую природную среду выделяются следующие ее компоненты:

- климат и микроклимат;
- воздушную среду;
- геологическую среду;
- водная среда;
- грунты;
- растительный и животный мир, заповедные объекты.

Рассматриваются только те компоненты и объекты окружающей природной среды, на которые влияет планируемая деятельность, а также те, современное состояние которых не отвечает нормативному.

#### **7.3.1 Оценка влияния на воздушную среду**

При оценке воздействия на воздушную среду подлежат анализу воздействия приоритетных специфических загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах объектов планируемой деятельности с учетом фоновых концентраций в пределах зон влияния этих объектов.

В состав материалов подраздела включаются:

- характеристика источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, схема их размещения, расчеты массы выбросов со ссылкой на использованные методики;
- результаты расчетов приземных концентраций со ссылкой на использованные программные средства;
- данные фонового загрязнения атмосферы в районе размещения проектируемого объекта (данные натурных наблюдений на стационарных постах, подфакельных исследований, расчетные и т.п.);
- оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого проектируемым объектом, а также с учетом фонового уровня загрязнения по гигиеническим нормативам (предельно допустимыми концентрациями - ПДК, группам суммации, комплексными показателям и критериям опасности);
- прогнозные, на расчетный период, фоновые концентрации примесей без учета влияния планируемой деятельности и прогнозные на расчетный период уровни загрязнения атмосферного воздуха с учетом прогнозного фона и влияния планируемой деятельности;
- оценка загрязнения атмосферного воздуха при неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ) и соответствующие метеозэкологические ограничения величин максимальных разовых выбросов;
- оценка загрязнения при возможных аварийных ситуациях;
- обоснование уровней допустимых выбросов и мероприятий по предотвращению или уменьшению образования и выделения веществ, загрязняющих атмосферный воздух;
- предложения по определению размера санитарно-защитной зоны на основании расчетов загрязнения атмосферного воздуха от объекта планируемой деятельности;
- организация мониторинга состояния атмосферного воздуха, методы и средства контроля.

Подлежат анализу характеристики шума от объекта планируемой деятельности и приводится анализ воздействий тепловых выбросов, ультразвука, электромагнитных и ионизирующих излучений и обосновываются мероприятия по их предотвращению или уменьшению.

Для разработки ОВОС для действующего предприятия, необходимы следующие данные:

1. Климатические характеристики (с местной метеослужбы);
2. Фоновые концентрации веществ с местной метеослужбы (перечень веществ определяет разработчик ОВОС);

3. Ситуационная карта-схема в масштабе 1: 10000-20000 с нанесением пределы промплощадки и ближайшей жилой, рекреационных зон, охранных зон, зон санитарной охраны источников водоснабжения;

4. Генеральный план площадки с экспликацией зданий и сооружений в масштабе 1: 1000-5000;

5. Описание технологии;

6. Данные инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с картой-схемой источников выбросов, характеристикой источников и характеристикой выбросов; разрешение на выбросы;

7. Результаты лабораторных измерений качества воздуха (если есть).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

Таблица А.1 –Характеристика источников образования загрязняющих веществ

Вироб- ництво	N дж ер.	N вен.	Джерело утв рення забрудню- чої речовини	Етапи те- хнологіч- ного про- цесу	Заванта- ження те- хнологі- чного об- ладнання	Об'ємна витрата газу	Тем- пера- тура	Забруднюча речовина	Значення концентрації забруднюючих речовин мг/куб.м	Методика визначення показників					
	вики	уста нов-	ки	Наймену- вання	Кіль- кість	куб.м/ сек	С	Код	Найменування	факт. мак. мін.	проектне значення	по техноло- гічному * регламенту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

\

### Приложение Б

Таблица Б.1 –Характеристика источников выбросов загрязняющих веществ

N дж	Найме-	Ви-	Діа-	Координати джерела				Характеристика													
ер.	нуван-	сота	метр					пилогазоповітря													
вики	ня	дже-	дже-	точково-	другого	Кут до	ної суміші														
дів	джерела	рела	рела	го або	кінця лі	вжини															
		вики	вики	початку	нійного,	площин+															
		ду м	ду м	лінійно-	ширина і	ного	об'єм	швид-	тем												
				го, цен-	довжина	джерек	м/сек	кість	пе-												
				тру симе	площини	ла від		м/сек	ра-												
				трії пло	го	носно			ту-												
				шинного		м3/сек			ра												
						ОХ за-			с												
						водсь-															
						кої си															
						стеми															
				X1	X2	X1	X2	(град)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Таблица Д.1 – Характеристика выбросов загрязняющих веществ от основных производств

Вироб-	Продукція, · що ·	Характеристика	Викиди · забруднюючих	Пито- ·
ництво	випускається ··	сировини, · мате	речовин ······	мий · ви
······	—————	ріалу ······	······	кид · на
······	Найме	Оди-   Кі-  —————+—————	одини-	
······	нува-	ниця   ль-	Найме   Оди-   Кі-	Код   Найме-
······	вання	вимі   кі-	нува-	ниця   Фак   цю · си-
······	······	ру ··   сть   ння ··	вимі   кі-	···   ня ····
······	······	····   сть   ····	ру ··   сть   ····	міру   ви ·
······	······	····   ····	····	кид   ції ···
—————+	—————+	—————+	—————+	—————+
···1··	··2··	··3·	·4·	··5··
···6··	··7·	·8·	···9··	·10·
·11	·12··			



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. – Ленинград : Госкомгидромет, 1987. – 94 с.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.
3. Экология города: учебник / под ред. Ф. В. Стольберга. – Киев : Либра, 2000. – 464 с.
4. Законодательные и нормативные документы, регламентирующие природоохранную деятельность в Украине. [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://www.iet.org.ua/normativnaya-baza/>

Навчальне видання

**БЕКЕТОВ Володимир Єгорович**  
**ЄВТУХОВА Галина Петрівна**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

к дисципліни

**«МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ  
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ»**

(Рос. мовою)

*(для студентів 5 курсу денної і 5-6 курсів заочної форм навчання  
спеціальності 101 – Екологія)*

Відповідальний за випуск *Я. О. Герасименко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *В. Є. Бекетова*

План 2016, поз.38Л

Підп. до друку 19.04.2017 р.

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 2,5

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідомство суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.